

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GLEDSON RODRIGO TONDO

**AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS E EQUIPAMENTOS
NECESSÁRIOS PARA A ADEQUAÇÃO DE NÍVEL DE
DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DE PROJETOS DE
HABITAÇÕES POPULARES SEGUNDO A NBR 15.575:2013**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2014

GLEDSON RODRIGO TONDO

**AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA A
ADEQUAÇÃO DE NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DE
PROJETOS DE HABITAÇÕES POPULARES SEGUNDO A NBR 15.575:2013**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Pato Branco.

Orientadora: Prof.^aDr.^a Elizângela Marcelo Siliprandi.

PATO BRANCO

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA A ADEQUAÇÃO DE NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DE PROJETOS DE HABITAÇÕES POPULARES SEGUNDO A NBR 15.575:2013

GLEDSON RODRIGO TONDO

Aos 12 dias do mês de fevereiro do ano de 2014, às 15h15min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 13-TCC/2014.

Orientador: Prof^a. Dr^a. ELIZÂNGELA M. SILIPRANDI (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. OSMAR JOÃO CONSOLI (DACOC / UTFPR-PB)

Aos que, direta ou indiretamente, contribuíram com este trabalho.

AGRADECIMENTOS

É quando nos faltam forças para continuar que percebemos a importância de companheiros ao nosso lado. Certamente, para a realização deste trabalho, o apoio de muitos foi importante, e nada mais justo que deixar, aqui, meus sinceros agradecimentos.

A professora Elizângela Marcelo Siliprandi, pela dedicação, paciência e orientação.

Aos professores membros da banca, prof^o Mario Arlindo Paz Irrigaray e prof^o Osmar João Consoli, pelas colaborações realizadas no desenvolvimento deste trabalho.

A UTFPR pelo incentivo à pesquisa, estudo e pelas condições proporcionadas para que este trabalho pudesse ser realizado.

Ao prof^o Steve Mead, da *Northern Arizona University*, pelo estímulo ao aprendizado em temas condizentes com este trabalho.

Aos meus pais, Susane e Regis, e meus irmãos, Rafael e Andrey, pelas alegrias, incentivos, e principalmente pela educação. Esta etapa só foi concluída graças a vocês.

Finalmente, a Aline Maria Steimbach Perardt, pelo companheirismo, carinho, dedicação, paciência, e tantas outras qualidades sem as quais o resultado deste trabalho não seria o mesmo.

A todos vocês, meu muito obrigado.

RESUMO

TONDO, Gledson Rodrigo. **Avaliação dos Processos e Equipamentos Necessários para a Adequação de Nível de Desempenho Térmico e Acústico de Projetos de Habitações Populares Segundo a NBR 15.575:2013**. 2014. Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

Este trabalho apresenta os requisitos térmicos e acústicos para habitações citados na NBR 15.575:2013. Através deles, foram analisados seis modelos de residências situadas no sudoeste do estado do Paraná, caracterizando-as segundo a referida norma. Os métodos de cálculo utilizam dados referentes ao projeto das edificações, permitindo assim obter um resultado prévio do comportamento da edificação. As edificações foram ainda analisadas segundo seu desempenho térmico através de um modelo computacional, utilizando um *software* específico. Por fim, foi realizada a conceituação dos modelos residenciais e foram levantados os equipamentos necessários e a adequação exigida para que, no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pudessem ser realizados os ensaios para a averiguação dos índices físicos dos materiais, utilizados nos cálculos anteriores.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Desempenho acústico. NBR 15575. Modelo computacional. Equipamentos de laboratório.

ABSTRACT

TONDO, Gledson Rodrigo. **Evaluation of the Necessary Processes and Equipment to the Suitability of the Thermal and Acoustic Performance of Popular Dwelling Projects According to NBR 15.575:2013**. 2014. Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

This paper presents the thermal and acoustic requirements for dwellings mentioned on the NBR 15.575:2013. According to them, six home models, situated at the south-western part of the state of Paraná, were analyzed and characterized according to the referred standard. The calculation methods use the buildings design's data, allowing, thus, to obtain a previous result of the construction behavior. The edifications' thermal aspect were also analyzed through a computer model, making use of a specific software. Ultimately, the building models were evaluated, and the necessary equipment are listed so that, in the Federal Technological University of Parana's laboratory, it would be able to perform the tests to investigate the physical values of the materials, used in the previous cited calculations.

Keywords: Thermal Performance. Acoustic performance. NBR 15575. Computational model. Laboratory equipment.

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Absortância à radiação solar
A	Amplitude de onda
c	Calor específico
C_t	Capacidade Térmica
λ	Condutividade Térmica
dB	Decibel
ρ	Densidade aparente
$D_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada
$D_{2m,nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada a dois metros de distância
ε	Emissividade
f	Frequência de onda
Hz	Hertz
R_w	Índice de redução sonora ponderado
J	Joule
K	Kelvin
m	Metro
N	Newton
Pa	Pascal
P	Período de onda
$L'_{nT,w}$	Pressão sonora de impacto produzido ponderado
$L_{Aeq,nT}$	Pressão sonora contínua equivalente
$L_{ASmax,nt}$	Pressão sonora máxima
kg	Quilograma
R	Resistência térmica
r	Resistividade térmica
U	Transmitância térmica
v	Velocidade de onda
W	Watt

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperaturas máximas no verão, ambientes externos e internos.....	15
Figura 2 - Temperaturas mínimas no inverno, ambientes externos e internos.....	15
Figura 3 - Fluxograma de avaliação do desempenho térmico.....	21
Figura 4 - Onda de variação de temperatura em relação ao tempo.....	24
Figura 5 - Inclinação do eixo terrestre em relação ao Sol.....	25
Figura 6 - Incidência solar de acordo com a latitude.....	26
Figura 7 - Desempenho fotoenergético de um vidro.....	36
Figura 8 - Comprimento e amplitude de onda.....	39
Figura 9 - Fluxograma das atividades.....	45
Figura 10 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	47
Figura 11 – Planta baixa: Modelo 1.....	62
Figura 12 – Planta baixa: Modelo 2.....	63
Figura 13 – Planta baixa: Modelo 3.....	64
Figura 14 – Planta baixa: Modelo 4.....	65
Figura 15 – Planta baixa: Modelo 5.....	66
Figura 16 – Planta baixa: Modelo 6.....	67
Figura 17 – Elevação: Modelo 1.....	68
Figura 18 – Elevação: Modelo 2.....	68
Figura 19 – Elevação: Modelo 3.....	69
Figura 20 – Elevação: Modelo 4.....	69
Figura 21 – Elevação: Modelo 5.....	70
Figura 22 – Elevação: Modelo 6.....	70
Figura 23 – Temperatura externa.....	76
Figura 24 – Temperatura interna (esquerda) e sensação térmica (direita) – Modelo 1.....	77
Figura 25 – Temperatura interna (esquerda) e sensação térmica (direita) – Modelo 2.....	77
Figura 26 – Temperatura interna (esquerda) e sensação térmica (direita) – Modelo 3.....	78
Figura 27 – Temperatura interna (esquerda) e sensação térmica (direita) – Modelo 4.....	78
Figura 28 – Temperatura interna (esquerda) e sensação térmica (direita) – Modelo 5.....	79
Figura 29 – Temperatura interna (esquerda) e sensação térmica (direita) – Modelo 6.....	79
Figura 30 – Direção dos ventos predominantes em Curitiba.....	86
Figura 31 – Medidor de Fluxo de Calor.....	88
Figura 32 – Calorímetro.....	89
Figura 33 – Fonte omnidirecional de ruído.....	90
Figura 34 – Tapping machine.....	90
Figura 35 – Sonômetro.....	91
Figura 36 – Desempenho segundo as temperaturas diárias – Modelo 1.....	102
Figura 37 – Desempenho segundo as temperaturas características – Modelo 1.....	102
Figura 38 – Desempenho segundo as temperaturas diárias – Modelo 2.....	104
Figura 39 – Desempenho segundo as temperaturas características – Modelo 2.....	104
Figura 40 – Desempenho segundo as temperaturas diárias – Modelo 3.....	106
Figura 41 – Desempenho segundo as temperaturas características – Modelo 3.....	106
Figura 42 – Desempenho segundo as temperaturas diárias – Modelo 4.....	108
Figura 43 – Desempenho segundo as temperaturas características – Modelo 4.....	108

Figura 44 – Desempenho segundo as temperaturas diárias – Modelo 5	110
Figura 45 – Desempenho segundo as temperaturas características – Modelo 5.....	110
Figura 46 – Desempenho segundo as temperaturas diárias – Modelo 6	112
Figura 47 – Desempenho segundo as temperaturas características – Modelo 6.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Materiais de cobertura dos projetos modelo.....	72
Tabela 2 – Dados dos materiais de cobertura.....	72
Tabela 3 – Transmitância térmica dos modelos de cobertura.....	72
Tabela 4 – Dados dos materiais de vedação	73
Tabela 5 – Dados das paredes: projeto	73
Tabela 6 – Transmitância e Capacidade térmica: dados de projeto	74
Tabela 7 - Dados das paredes: obra.....	74
Tabela 8 - Transmitância e Capacidade térmica: dados da obra.....	75
Tabela 9 – Índice de redução sonora ponderado utilizados para cálculos	80
Tabela 10 - Índice de redução sonora ponderado das residências (db).....	81
Tabela 11 – Características das residências analisadas.....	82
Tabela 12 – Desempenho das residências classificados por nível	85
Tabela 13 – Temperaturas internas e externas (°C): Modelo 1.....	101
Tabela 14 – Temperaturas internas e externas (°C): Modelo 2.....	103
Tabela 15 – Temperaturas internas e externas (°C): Modelo 3.....	105
Tabela 16 – Temperaturas internas e externas (°C): Modelo 4.....	107
Tabela 17 – Temperaturas internas e externas (°C): Modelo 5.....	109
Tabela 18 – Temperaturas internas e externas (°C): Modelo 6.....	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades de condutividade e resistividade térmica	30
Quadro 2 - Inteligibilidade de fala.....	42
Quadro 3 - Desempenho da edificação no verão	48
Quadro 4 - Desempenho da edificação no inverno	48
Quadro 5 - Transmitância térmica de paredes externas	49
Quadro 6 - Capacidade térmica de paredes externas.....	49
Quadro 7 - Área mínima de ventilação de ambientes	49
Quadro 8 - Níveis de desempenho térmico de coberturas	50
Quadro 9 - Desempenho do sistema de pisos a ruídos de impacto	54
Quadro 10 - Desempenho do sistema de pisos a ruídos aéreos	54
Quadro 11 - Desempenho de vedações externas a ruídos aéreos	55
Quadro 12 - Desempenho de vedações internas a ruídos aéreos	56
Quadro 13 - Desempenho de vedações externas para cálculo em projeto.....	57
Quadro 14 - Desempenho de vedações internas para cálculo em projeto.....	57
Quadro 15 - Desempenho da cobertura a ruídos aéreos	58
Quadro 16 - Desempenho da cobertura a ruídos de impacto	59
Quadro 17 - Níveis de desempenho de equipamentos e sistemas hidrossanitários	59
Quadro 18 – Referências normativas de desempenho térmico	88

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 JUSTIFICATIVA	18
2 DESEMPENHO TÉRMICO	20
2.1 MECANISMOS DE TROCA DE CALOR	22
2.1.1 Condução	22
2.1.2 Convecção	23
2.1.3 Radiação	23
2.2 ZONAS CLIMÁTICAS	24
2.2.1 Radiação Solar	25
2.2.2 Latitude e Longitude	26
2.2.3 Topografia e revestimento do solo	27
2.2.4 Umidade e Precipitação	27
2.2.5 Nebulosidade e Ventos	28
2.2.6 Regiões Bioclimáticas	28
2.3 CONDUTIVIDADE E RESISTIVIDADE TÉRMICA	29
2.4 RESISTÊNCIA TÉRMICA	31
2.5 TRANSMITÂNCIA TÉRMICA	32
2.6 CAPACIDADE TÉRMICA	32
2.7 CALOR ESPECÍFICO	33
2.8 DENSIDADE DE MASSA APARENTE	34
2.9 EMISSIVIDADE	34
2.10 ABSORTÂNCIA À RADIAÇÃO SOLAR	35
2.11 CARACTERÍSTICA FOTOENERGÉTICA	36
3 DESEMPENHO ACÚSTICO	37
3.1 ONDA SONORA	38
3.2 FREQUÊNCIA E PERÍODO	38
3.3 AMPLITUDE E COMPRIMENTO DE ONDA	39
3.4 VELOCIDADE DE ONDA	39
3.5 DECIBEL	40
3.6 PRESSÃO SONORA DE IMPACTO PADRONIZADO PONDERADO	41
3.7 DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA	42
3.8 ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA PONDERADO	43
4 MATERIAIS E MÉTODOS	44
4.1 METODOLOGIA DOS ENSAIOS	46
4.1.1 Desempenho Térmico	46
4.1.1.1 Requisitos Gerais	46
4.1.1.2 Sistema Vertical de Vedações Externas e Internas	48
4.1.1.3 Sistema de Cobertura	50
4.1.1.4 Método de Cálculo: ABNT NBR 15220/2005	50
4.1.1.5 Avaliação Computacional	52
4.1.2 Desempenho Acústico	52

4.1.2.1 Requisitos Gerais.....	53
4.1.2.3 Sistema Vertical de Vedações Externas e Internas.....	55
4.1.2.4 Sistema de Cobertura	58
4.1.2.5 Sistemas Hidrossanitários.....	59
4.1.2.6 Métodos de Avaliação Acústica.....	60
4.1.3 Análise da Adaptabilidade Técnica da UTFPR.....	61
5 ANÁLISES E RESULTADOS	62
5.1 DESEMPENHO TÉRMICO	71
5.1.1 Sistema de Cobertura	71
5.1.2 Sistema de Vedações Verticais Externas e Internas.....	73
5.1.3 Análise de <i>Software</i>	75
5.2 DESEMPENHO ACÚSTICO	80
5.2.1 Sistema de Vedações Verticais Externas e Internas.....	80
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	82
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
REFERÊNCIAS.....	95
Apêndice A	100

1 INTRODUÇÃO

O ser humano sempre teve a tendência de construir e habitar suas construções. Após a revolução industrial, porém, muitas práticas que antes eram realizadas ao ar livre passaram a ser feitas sob um teto, ocorrência que aumentou ainda mais com a era tecnológica. Segundo USEPA (1989), a população americana passa 90% do seu tempo em ambientes fechados, o que é extremamente nocivo à saúde. Isto se agrava quando se tem em vista o fato de que alguns poluentes podem se concentrar de duas a cinco vezes mais, se comparados a ambientes ao ar livre (WALLACE, 1987).

Com o passar do tempo e o aumento da população mundial, surgiram os conglomerados urbanos, e o que antes era calmo e pacífico passou a ser agitado e desconfortável. A indústria da construção, tendo isto em vista, começou a incorporar conceitos de outras ciências, que influenciam diretamente na perspectiva humana do ambiente, e, conseqüentemente, na valorização do mesmo (OPAS/OMS, 2003).

Um destes conceitos é o desempenho termo-acústico de edificações, que, inicialmente, dependia unicamente da avaliação subjetiva do usuário.

Tomando como exemplo o desempenho térmico das edificações, percebe-se que há uma necessidade de conforto em relação ao meio externo. O grande problema era definir especificamente os limitantes deste conforto e os fatores que contribuem e que também o limitam.

O estudo climático regional, porém, abrangeu este conceito, e acabou por conceder especificações técnicas precisas sobre o desempenho térmico das edificações.

A Figura 1, abaixo, mostra, por exemplo, as temperaturas máximas no verão aferidas no interior e no exterior da edificação, na cidade de Florianópolis, Santa Catarina.

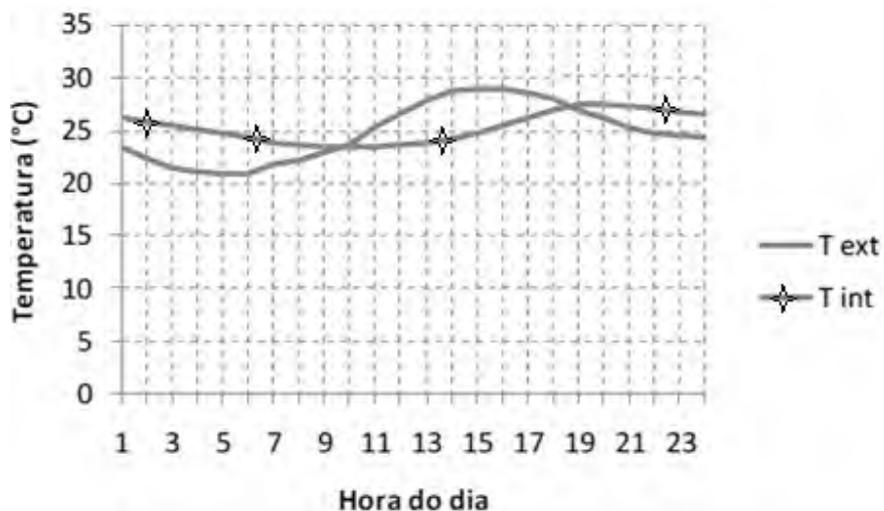


Figura 1 - Temperaturas máximas no verão, ambientes externos e internos
Fonte: WESTPHAL (2013).

Já a Figura 2 mostra as temperaturas mínimas aferidas durante o inverno, também na cidade de Florianópolis, Santa Catarina.

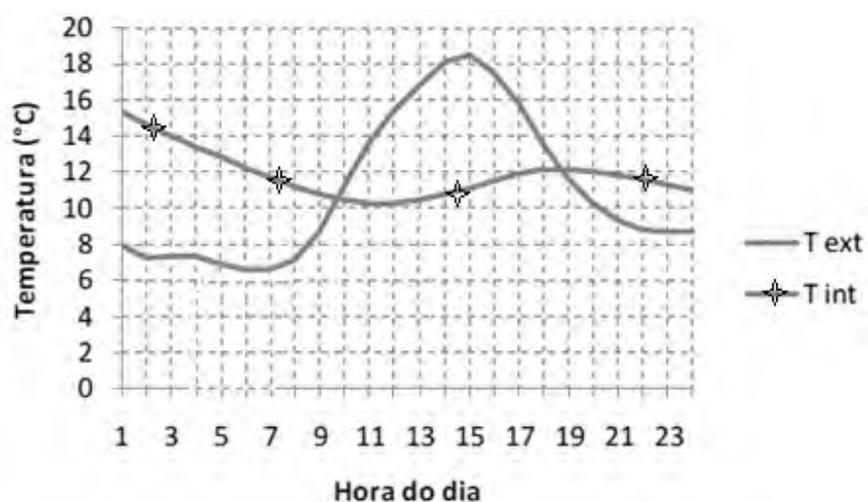


Figura 2 - Temperaturas mínimas no inverno, ambientes externos e internos
Fonte: WESTPHAL (2013).

Estes dados são vitais para a correta análise térmica do ambiente e de sua adequação quanto à orientação solar, posição de janelas, necessidade de condicionamento de ar, entre outros.

Já quando se trata de ruído, o grande problema ocorre nos centros urbanos. É essencial para o bem estar do ser humano um ambiente residencial calmo e quieto.

Porém, com o ritmo acelerado da jornada de trabalho, as cidades funcionam dia e noite, e que provoca uma presença constante de ruído no interior das edificações.

A NBR 10152 (ABNT, 1987), limita o nível de ruído em duas regiões dentro da residência: dormitórios, que devem variar entre 35dB e 45dB, e salas de estar, entre 40dB e 50dB.

Estes conceitos, porém, são dependentes do desempenho termo-acústico da edificação. O grande problema residia na falta de métodos de aferição destes dados. Com esta problemática surge a norma brasileira NBR 15575:2013, através de uma necessidade apresentada pela Caixa Econômica Federal para avaliar seus financiamentos. Além disto, para Costa (2013), esta norma auxiliará os consumidores na hora da aquisição do imóvel novo, que procuram conforto, estabilidade, longevidade e segurança na hora de fechar o negócio.

Entretanto, para fazer valer esta norma, são necessários laboratórios com equipamentos próprios à resolução dos ensaios que a mesma determina, ensaios que vão desde a caracterização de propriedades de um material, como absorvância e emissividades térmicas, até processos complexos como a análise termo-acústica de uma maquete, ou mesmo de um edifício completo.

Este trabalho de conclusão de curso limita-se, portanto, à região sudoeste do estado do Paraná, onde há, atualmente, uma carência destes laboratórios especializados para realizarem estas aferições. Com esta problemática apresentada pretende-se, portanto, averiguar a adequação dos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná para a realização da verificação dos requisitos mínimos de desempenho dentro da norma NBR 15575:2013.

Com o intuito de viabilizar a pesquisa, optou-se por realizar a análise da aplicação da referida norma em residências unifamiliares no padrão do Programa Minha Casa Minha Vida – PMCMV – Recursos FAR (Fundo de Arrendamento Residencial). Este é um programa do Governo Federal gerido pelo Ministério das Cidades e operacionalizado pela Caixa Econômica Federal, que se mostrou importante, social e economicamente no cenário regional definido neste trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar os processos normativos e equipamentos necessários para a adequação do nível de desempenho térmico e acústico do projeto de habitações populares segundo a NBR 15.575:2013.

1.1.2 Objetivos Específicos

Contextualizar as normas regulamentadoras e os requisitos mínimos aceitáveis para projeto e construção das várias etapas construtivas da obra, segundo seu desempenho térmico e acústico.

Determinar as características influentes no desempenho termo-acústico de habitações populares conditas no programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal.

Analisar projetos de edificações regionais quanto ao seu desempenho térmico e acústico, segundo a NBR 15575.

Elencar as condições necessárias, espaço físico, equipamentos e pessoal técnico para a realização das avaliações térmicas e acústicas de cada sistema que compõem a construção, de acordo com a norma em estudo.

Apresentar os requisitos técnicos e físicos para implantação da estrutura necessária para a análise de desempenho térmico e acústico de construções residenciais, para o curso de engenharia civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *câmpus* Pato Branco.

1.2 JUSTIFICATIVA

A norma NBR 15.575:2013, válida desde o dia 19 de julho de 2013, têm como objetivo a regulamentação do nível de desempenho presente nas edificações (ABNT, 2013).

Redigida segundo os modelos internacionais de normalização de desempenho, a norma em questão identifica, para cada necessidade do usuário e condição de exposição, uma sequência de requisitos de desempenho, critérios de desempenho e seus respectivos métodos de avaliação (CBIC, 2013).

Segundo Santos (2013), os órgãos públicos serão os protagonistas desta nova norma. Entre eles, destacam-se a Caixa Econômica Federal e o Banco do Brasil, que juntos financiam mais de 80% da construção de imóveis no país. Segundo ele, para os bancos citados, anteriormente à norma, não era necessário nenhuma verificação de desempenho da edificação, fato que será mudado após a norma NBR 15575:2013.

Genso (2013) enunciou que, no final do ano de 2012, o Banco do Brasil havia liberado mais de 11 bilhões de reais em empréstimos imobiliários, um crescimento de 75% em relação a 2011. Isto se deve principalmente ao Programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal. Através dele, o banco em questão encerrou o ano de 2012 com mais de 114 mil financiamentos de unidades habitacionais.

Haverá, porém, um tempo de adaptação à nova norma por parte das construtoras, já que ela se mostra muito ampla. Para Suong (2013), grande parte das construtoras não está pronta para as mudanças exigidas pela NBR 15.575:2013, já que elas envolvem conhecimento específico por parte dos projetistas, além de requalificação da mão de obra e reavaliação de custos dos empreendimentos. Já Fantin (2013) além de relatar que os profissionais da construção deverão se ater muito mais à qualidade, deixa claro que haverá uma responsabilidade do usuário em realizar eventuais reparos e manutenções na edificação, para que seja garantida a correta funcionalidade da obra.

Entre vários tópicos apresentados pela norma citada estão os padrões mínimos de requisitos termo-acústicos. Segundo USEPA (1989), é de extrema importância que se mantenha uma boa qualidade do ambiente interno, o que envolve diretamente a

temperatura e o ruído, já que a maior parte da atividade humana, atualmente, é feita sob uma atmosfera fechada, e este dado está cada dia mais se tornando uma verdade absoluta.

Como estes aspectos da construção são dependentes de diversas variáveis, a adequação de equipamentos e edificações a eles demanda ensaios e testes especializados.

Em face destes novos requisitos, há a necessidade de adequação dos laboratórios regionais às novas exigências. Como na região sudoeste do estado do Paraná inexistente tal estabelecimento, torna-se importante a criação ou adaptação de um local apropriado.

Em virtude de sua confiabilidade e importância regional, entende-se que o *câmpus* Pato Branco da Universidade Tecnológica Federal do Paraná é a instituição ideal para a implementação deste novo centro de pesquisas, na região definida para o estudo.

Entende-se ainda que a Universidade Tecnológica Federal do Paraná é o lugar ideal na região para a implantação deste novo sistema, já que contaria, além da estrutura já existente completa, com toda a equipe de profissionais que formam o corpo docente do curso de Engenharia Civil e demais áreas técnicas, bem como os estudantes destas áreas, que contribuem cientificamente com o atendimento e aprimoramento da norma, e futuramente com o correto atendimento as suas condições.

Há também a preocupação em atender às novas necessidades de mercado, segundo os requisitos mínimos exigidos na norma NBR 15.757:2013. Por se tratar de uma instituição federal, cujos recursos não são disponibilizados aleatoriamente, e sim mediante projetos e convênios, o desenvolvimento deste trabalho, que objetiva elencar as necessidades pertinentes aos laboratórios existentes, se constituirá um material que possibilitará a instituição estar preparada para solicitar verbas ou buscar convênios, a fim de viabilizar a condição de seus laboratórios à realização dos testes e verificação dos requisitos mínimos de desempenho térmico e acústico exigidos pela norma, sendo possível, assim, atender às novas necessidades de mercado.

2 DESEMPENHO TÉRMICO

É senso comum que a arquitetura de ambientes deve servir o homem e seu conforto. Segundo Frota e Schiffer (2003), este conforto está diretamente associado ao funcionamento do organismo humano. O corpo humano deve liberar ou absorver calor suficiente para que sua temperatura interna estabilize em torno de 37°. A sensação de conforto térmico é alcançada, portanto, quando a troca de calor entre o corpo e o meio é realizada sem grande quantidade de trabalho.

O conforto térmico, segundo ASHRAE (2004), pode ser definido como o estado de espírito que expressa satisfação com a condição térmica do ambiente. Como há muita variação psicológica e fisiológica entre os seres humanos, não há uma definição exata para tal conceito. Entretanto, segundo o mesmo autor, existem seis condições principais que afetam o conforto térmico, são elas:

- Taxa de metabolismo do corpo humano.
- Isolamento térmico devido ao uso de roupas.
- Temperatura do ar.
- Temperatura de radiação solar.
- Velocidade do vento.
- Umidade.

Considera-se ainda que a 'máquina humana' tem um desempenho baixíssimo, de cerca de 20%. Ou seja, 80% da energia gerada pelo corpo, em torno de 75 W, é dissipada ao ambiente para manter o equilíbrio (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Fica clara, portanto, a importância do controle dos níveis térmicos do ambiente em relação ao conforto térmico proporcionado por ele, e aliado a isto, o benefício que o desempenho térmico traz ao ser humano. Logo, é necessário que se crie e controle mecanismos de controle do desempenho.

De acordo com Pereira e Neto (1988), a avaliação do desempenho térmico em ambientes internos depende de requisitos pré-existentes, e tem como objetivo principal a satisfação do usuário frente à condição existente no meio externo.

Estes requisitos, entretanto, não se tratam apenas da temperatura do ambiente, como é comum imaginar. O conforto térmico sofre grande influência do local e propriedades da obra, ventilação dos ambientes e das dimensões e posicionamento das aberturas, o que é considerado pela NBR 15575:2013 (CBIC, 2013).

Akutsu et al. (1982) propõe, baseado nisto, uma sugestão de fluxograma de avaliação de desempenho térmico em edificações, apresentado na Figura 3.

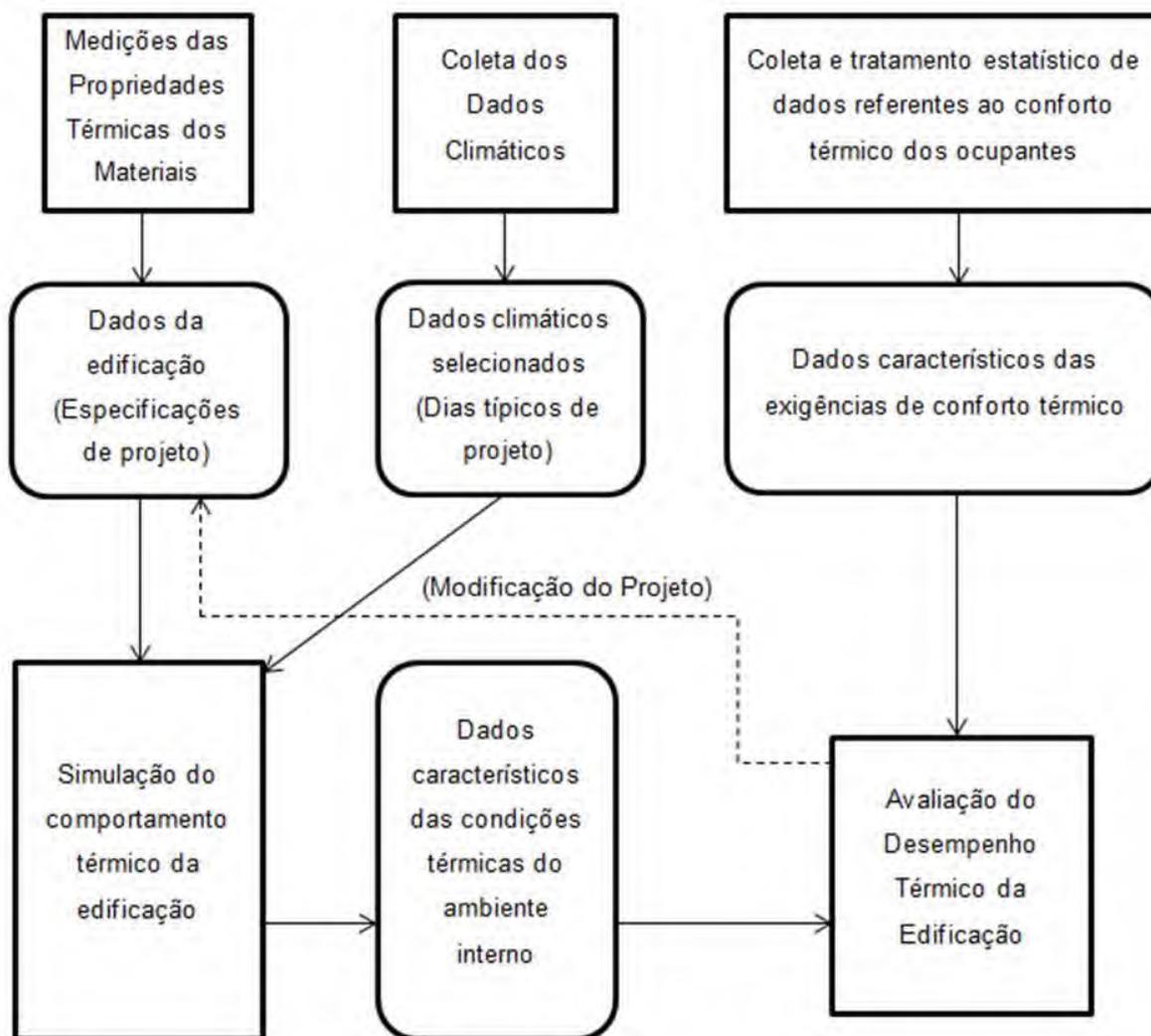


Figura 3 - Fluxograma de avaliação do desempenho térmico
 Fonte: Adaptado de AKUTSU et al. (1982).

Para a correta análise do desempenho térmico de um ambiente interno, portanto, se torna necessário o conhecimento de diversas propriedades físicas dos materiais de

construções envolvidos e dos conjuntos formados por eles, além de todas as informações climáticas relevantes. Estas propriedades são definidas a seguir.

2.1 MECANISMOS DE TROCA DE CALOR

Segundo Mehta et al. (2009), é sabido por conhecimento empírico, quando dois objetos de temperaturas diferentes são colocados em contato, o fluxo de calor fluirá do objeto de maior temperatura para o de menor temperatura, até que os dois se igualem.

Apesar de esta ser a forma mais visual de transferência de calor, existem outras duas modalidades, que são essenciais na análise do conforto térmico.

2.1.1 Condução

Frota e Schiffer (2003) definem a condução térmica como a troca de calor entre dois corpos que se tocam, ou até mesmo entre um mesmo corpo, com pontos que apresentam temperaturas distintas.

Costa (1982), por sua vez, deixa claro que a transmissão de calor por condução ocorre através da vibração das moléculas, que se movem com velocidade diretamente proporcional à sua temperatura.

Dentro do aspecto térmico da edificação, grande parte do controle da temperatura de ambientes internos é feita ajustando as trocas de calor por condução entre as faces externas e internas do envelope da edificação.

2.1.2 Convecção

A troca de calor por convecção, segundo Mehta et al. (2009), ocorre apenas em meio fluido, e pode ser descrita pelo movimento dele no recipiente. O autor cita o exemplo de uma panela de água que é esquentada em um fogão. As partículas situadas mais perto da chama esquentarão mais, e, conseqüentemente, se tornarão mais leves. Sendo assim, por força gravitacional, elas sobem à camada topo da água, e dão espaço a partículas mais frias.

Costa (1982) define o fenômeno dado como exemplo como convecção livre. Sendo assim, a convecção forçada ocorre apenas quando há uma intensificação artificial do movimento das moléculas, através de agitação da massa fluida, por exemplo.

Esta modalidade de transferência de calor é a menos presente e influente na avaliação do conforto térmico.

2.1.3 Radiação

A radiação, segundo Frota e Schiffer (2003), é o mecanismo de troca de calor entre dois corpos distantes entre si. Ele se deve à natureza eletromagnética da energia, que ao ser absorvida provoca efeitos térmicos, ocorrendo até mesmo no vácuo.

É através da radiação, portanto, que obtemos energia térmica do Sol. Ela tem grande participação no processo de julgamento do conforto térmico, visto que ela não só é responsável pelo aquecimento direto da pele e roupas utilizadas, mas também do envelope da construção, que posteriormente transferirá esse calor para o ambiente interno através do mecanismo de condução.

2.2 ZONAS CLIMÁTICAS

Segundo Costa (1982), as condições climáticas que vivenciamos variam com diversos aspectos, como radiação solar, latitude e longitude, topografia e revestimento do solo, umidade e precipitação, nebulosidade, ventos, entre outros. O conjunto destas características é definido como uma zona climática.

Estas variações, quando superpostas, dão origem a uma complexa variação periódica, que consiste de uma onda fundamental quase senoidal, que representa os dias do ano, e uma harmônica elevada, de frequência 365 vezes superior à senoidal, e de amplitude variável, que representa a variação de temperatura durante cada dia, como mostra a Figura 4 (COSTA, 1982).

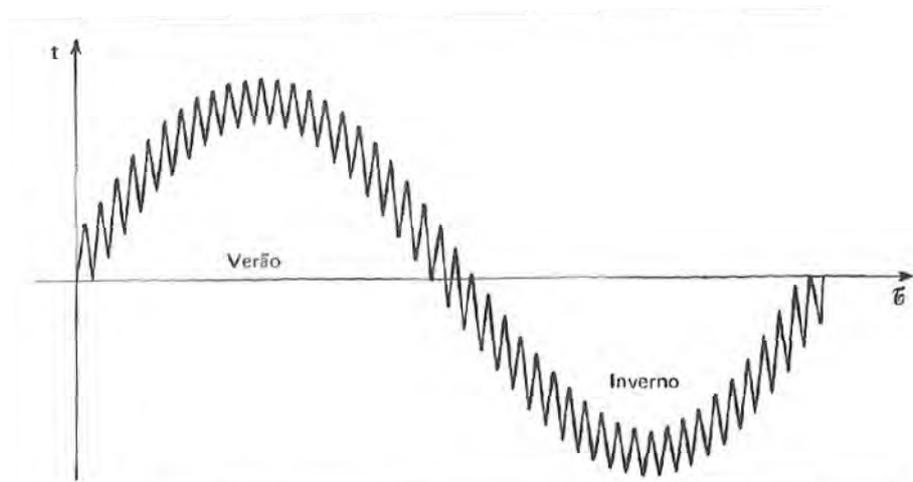


Figura 4 - Onda de variação de temperatura em relação ao tempo
Fonte: COSTA (1982).

A norma NBR 15220- Parte 1 (ABNT, 2005), por sua vez, define a zona bioclimática não apenas como o conjunto de propriedades que definem o clima, mas quanto à interferência destas condições no ambiente construído e no conforto humano.

Deve-se, portanto, tomar a precaução de analisar a fundo todos os aspectos influentes no conforto térmico.

2.2.1 Radiação Solar

Constituída por uma onda eletromagnética curta, a radiação solar atinge a terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera. Esta radiação, no entanto, varia de acordo com a época do ano, devido à inclinação de aproximadamente 23.5° do eixo terrestre em relação ao Sol, como mostrado na Figura 5. Desta inclinação derivam os solstícios e equinócios, que definem a duração dos dias e das noites no planeta, e, conseqüentemente, a quantidade de radiação incidida (FROTA; SCHIFFER, 2003).

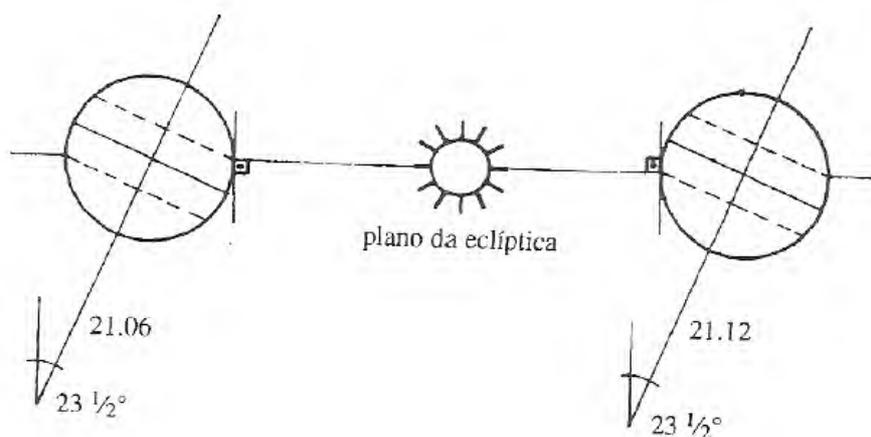


Figura 5 - Inclinação do eixo terrestre em relação ao Sol
 Fonte: FROTA e SCHIFFER (2003).

Segundo Costa (1982), a radiação solar é a principal fonte de energia do planeta Terra, porém, ela se torna vilã quando analisada do ponto de vista medicinal, tendo em vista a degradação da camada de ozônio e, como consequência, o aumento de incidência de raios ultravioleta na superfície terrestre, causadores de inúmeras doenças de pele, inclusive o câncer.

Do ponto de vista climático, Budyko (1968) explica que a radiação oriunda do sol provoca efeitos em pequena escala, como a sensação de calor ao estar sob o sol, mas também ocorrem efeitos em grande escala, como o derretimento das calotas polares e consequente efeito estufa, e o aumento da evapotranspiração de organismos vegetais, modificando, portanto, o clima do planeta.

2.2.2 Latitude e Longitude

A latitude e longitude são sistemas de medições em graus, da distância de um ponto até o Meridiano de Greenwich, e do ponto em questão até a linha do Equador, respectivamente. Formando um par ordenado, a latitude varia de 0° a 180°, de Leste a Oeste, enquanto a longitude varia de 0° a 90°, de Norte a Sul (MICHAELIS, 2011).

De acordo com Frota e Schiffer (2003), a grande influência no sistema climático, entretanto, fica a cargo da latitude. Associada à época do ano, é ela que determinará o ângulo de incidência dos raios solares. De acordo com a Figura 6, quanto maior for a latitude, menos radiação solar incidirá sobre o local, e, portanto, o ambiente ficará propenso a ser mais frio.

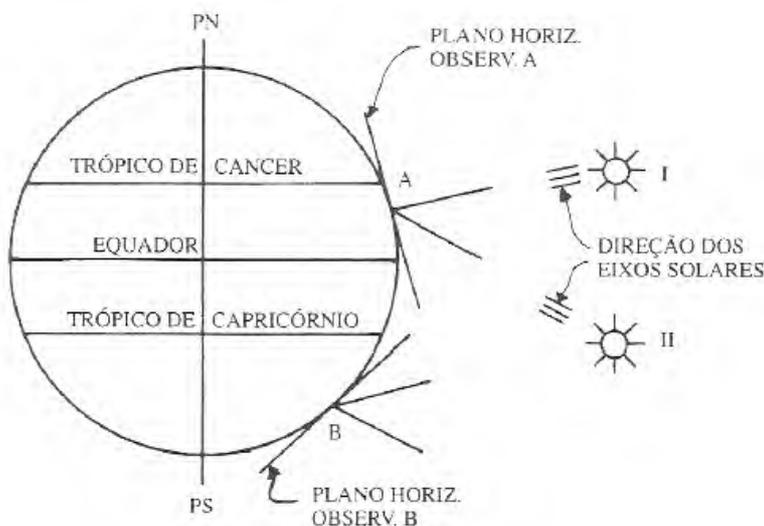


Figura 6 - Incidência solar de acordo com a latitude
Fonte: FROTA e SCHIFFER (2003).

2.2.3 Topografia e revestimento do solo

A topografia característica de um local pode causar uma barreira aos ventos, influenciando diretamente na umidade e temperatura de um local. Além disto, ela ainda pode influenciar a radiação incidida sobre este ponto (FROTA e SCHIFFLER, 2003).

Além disto, a topografia muitas vezes influencia no revestimento do solo presente no local. Ainda segundo os mesmos autores, um terreno que apresenta alta umidade terá uma grande condutibilidade térmica, caracterizando assim uma facilidade de aquecimento do solo, porém, da mesma maneira, este solo perderá calor muito rápido. Tal fato provoca uma grande amplitude térmica na região. Já segundo Costa (1982), a vegetação presente no solo, por transformar a energia solar em energia química através da fotossíntese, reduzindo a insolação durante o dia e liberando calor durante a noite.

2.2.4 Umidade e Precipitação

Definida como a quantidade de vapor de água no ar, a umidade é um dos fatores mais variáveis na atmosfera terrestre. Além de regular a temperatura do ar, ela absorve parte da radiação térmica. Já precipitação é o resultado da condensação da umidade atmosférica. Esta condensação, por crescimento e agregação, forma partículas suficientemente pesadas para cair das nuvens e atingirem a superfície (ENCYCLOPÉDIA BRITÂNICA, 2013).

Frota e Schiffer (2003), por sua vez, definem a umidade como a consequência direta da evaporação e transpiração de seres vivos. Citam ainda que a umidade total é o peso de água que está contido em um volume definido de ar, já a umidade relativa é este peso em relação à máxima capacidade de retenção de água pelo ar, em determinada temperatura e pressão.

2.2.5 Nebulosidade e Ventos

Fatores que, normalmente, não se apresentam um na presença do outro, a nebulosidade e os ventos influem diretamente na temperatura terrestre. A primeira, segundo Costa (1982), atua como obstáculo à radiação solar, evitando sobreaquecimentos de dia, e também contribui evitando perdas térmicas pela liberação de calor da crosta terrestre durante a noite. Já a segunda, ainda de acordo com o mesmo autor, varia conforme as pressões atmosféricas e constitui-se de deslocamentos de massas de ar, que a nível local, sofrem influência da topografia, das diferenças de temperatura e da vegetação.

Francisco (2010) ainda cita que os ventos são os modeladores do relevo terrestre, responsáveis pelo transporte da umidade oceânica para as porções continentais, além de amenizarem o calor em regiões de baixa pressão atmosférica.

2.2.6 Regiões Bioclimáticas

Definida pela NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005) como uma região geográfica específica, que apresenta homogeneidade perante as propriedades que interferem no clima da mesma, as regiões bioclimáticas são formas convenientes de se analisar as variações climáticas de maneira não pontual.

Para Costa (1982), embora as propriedades influentes possam ser variáveis, o que define uma região bioclimática é o próprio clima, ou seja, o conjunto final das variáveis.

Entende-se por região bioclimática, portanto, a extensão terrestre formada por propriedades climáticas semelhantes, que resultam em comportamentos climáticos também semelhantes durante todo o período de tempo a ser analisado.

Devido à extensão geográfica e à grande variação dos conceitos relacionados ao clima no território brasileiro, a NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005) divide tal território em oito regiões bioclimáticas.

Através deste zoneamento foram criados dois diferentes conceitos. Segundo CBIC (2013), definidos pela temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, o dia típico de verão e o dia típico de inverno são, respectivamente, as ocorrências de dia mais frio e de dia mais quente durante o período de um ano, em um número representativo de anos.

A norma brasileira NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005) impõe várias diretrizes de construção, de acordo com cada região bioclimática.

2.3 CONDUTIVIDADE E RESISTIVIDADE TÉRMICA

Caracterizada por Mehta et al. (2009), a resistividade térmica é uma propriedade do material, e, portanto, constante. Quanto maior seu valor, menor será a taxa de transmissão de calor pelo material em questão. Sua unidade física é o $m.K/W$.

Já a condutividade térmica, definida pela NBR 15220 – Parte 1 (ABNT, 2005) como a propriedade física de um material obrigatoriamente homogêneo e isótropo, onde ocorre um fluxo constante de calor de $1 W/m^2$, quando este material é submetido a um gradiente de temperatura entre suas superfícies de valor $1K/m$. Seu símbolo gráfico é ' λ ', e sua unidade física é $W/m.K$.

Entende-se, portanto, que a condutividade térmica é o inverso da resistividade térmica. Ou seja, enquanto a resistividade mede a dificuldade de transmissão do calor pelo material, a condutividade avalia quão facilmente ocorre esta transferência. Esta relação é especificada pela Equação 1:

$$\rho = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

ρ = Resistividade térmica;

λ = Condutividade térmica.

O Quadro1 apresenta valores de condutividade e de resistividade térmica para diversos materiais.

Material	ρ	λ
Aço	0.022	45.5
Cobre	0.002	450.0
Alumínio	0.022	45.5
Concreto	1.0	1.0
Calcário	1.0	1.0
Arenito	1.2	0.8
Vidro	1.0	1.0
Gesso	2.4	0.4
Madeira	6.2	0.2
MDF	16.6	0.1
Cortiça	20.8	0.048
Vermiculite	14.6	0.07
Fibra de Vidro	24.3	0.041
Lã Mineral	24.3	0.041
EPS	27.7	0.036
XEPS	34.7	0.029
Poliuretano	45	0.022
Ar	38.8	0.026
Argônio	61.7	0.016
Dióxido de Carbono	68.6	0.015
CFC	114.3	0.009
HCFC	104	0.010
Água	1.7	0.6

Quadro 1 - Propriedades de condutividade e resistividade térmica
Fonte: Adaptado de Ching (2008).

Tanto a resistividade quanto a condutividade térmica, segundo Frota e Schiffer (2003) são dependentes de algumas variáveis, como:

- Densidade do material: a matéria é sempre mais termicamente condutora que o ar.
- Natureza química do material: materiais amorfos, que não tem organização celular tridimensional, são menos condutores que os cristalinos.
- Umidade do material: a água também é melhor condutora que o ar.

Segundo a NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013), existem três diferentes métodos de ensaio para obtenção dos valores de condutividade térmica de materiais, são eles: ASTM C 518, ASTM C 177 e ISO 8302.

2.4 RESISTÊNCIA TÉRMICA

Definida por Mehta et al. (2009) como a habilidade de determinado material de resistir a passagem de calor através de sua superfície, a resistência térmica varia, portanto, de acordo com o material analisado e com a espessura do material.

Segundo o mesmo autor, é calculada multiplicando-se a resistividade térmica pela espessura. Sua unidade física é definida por $m^2 \cdot K/W$.

Ou seja, partindo do conhecimento da resistividade térmica do material, a resistência térmica é calculada através da Equação 2:

$$R = \rho \cdot L \quad (2)$$

Onde:

R = Resistência térmica;

ρ = Resistividade térmica;

L = Espessura do material.

2.5 TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

Caracterizada pela CBIC (2013) como o fluxo de calor que percorre uma área unitária de determinado elemento, quando existe um gradiente térmico de $1^\circ K$ entre as duas diferentes faces.

A NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013) ainda afirma que para o cálculo da transmitância térmica deve ser considerada, principalmente para vidros, componentes opacos de paredes externas e coberturas, a resistência superficial interna e externa, provocada pela diferença de temperatura (gradiente) entre os dois ambientes. Ademais, cita-se que este valor deve ser calculado, para efeito de norma, através do método proposto pela NBR 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005), ou então pelo método da caixa quente protegida, apresentado na NBR 6488 (ABNT, 1980).

Comumente definida pela letra U , sua unidade física é o $W/m^2 \cdot K$, e além do citado acima, a transmitância térmica caracteriza-se por ser o inverso da resistência térmica (MEHTA, et al., 2009). Ou seja, é definida pela Equação 3:

$$U = \frac{1}{R} \quad (3)$$

Onde:

U = Transmitância térmica;

R = Resistência térmica.

2.6 CAPACIDADE TÉRMICA

A capacidade térmica tem seu princípio baseado na física fundamental, e sua definição é dada pela NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013) como a “quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema em $kJ/m^2 \cdot K$ ”.

Segundo Faria (2011), quanto maior a capacidade térmica de determinado material, maior será a quantidade de calor que ele necessitará para variar sua temperatura.

A capacidade térmica, apesar de ser um conceito de um único material, pode também ser calculada para um componente, o que torna o conceito extremamente importante no âmbito do desempenho térmico na construção civil (ABNT NBR 15220 – Parte 2, 2005).

2.7 CALOR ESPECÍFICO

Definido pela norma NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005) como a quantidade de calor necessária para variar uma unidade de temperatura de um corpo com massa unitária, o calor específico tem como unidade o $J/kg.K$. É, portanto, diretamente derivado da capacidade térmica.

Segundo Costa (1982), o calor específico pode ser verificado segundo a relação entre a quantidade de calor absorvida ou cedida por um sistema e a variação de temperatura sofrida por ele.

Os valores de calor específico podem, portanto, ser tabelados de acordo com o material. A NBR 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005) apresenta, em anexo, vários valores desta unidade em diferentes materiais. Já a NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013), apesar de não indicar valores tabelados, recomenda que os ensaios de laboratório para medição do calor específico de um material sejam feitos de acordo com a norma ASTM C 351 – 92b.

2.8 DENSIDADE DE MASSA APARENTE

Apresentando segundo a NBR 15220 – Parte 1 (ABNT, 2005) como unidade física okg/m^3 , é definida como sendo o quociente entre a massa e o volume aparente de determinado corpo físico.

Através disto, Bauer (2008), cita como exemplo o granito britado. Segundo o autor, quando deixado cair através de gravidade, o material citado terá determinado peso ao completar completamente o volume do recipiente. Esta massa, quando dividida pelo volume citado, representará a densidade aparente o granito britado.

Sua medição, especificada pela NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013, p. 20), deve ser feita “conforme método de ensaio preferencialmente normalizado, específico para o material”.

Pode-se citar como exemplo a NBR 7251 (ABNT, 1982), que determina a massa específica de agregados para concreto, em estado solto. Segundo ela, o método padrão é o preenchimento de recipiente com dimensões conhecidas de material definido para ensaio, deixando-o cair de não mais de 10 cm de altura.

2.9 EMISSIVIDADE

A emissividade, de acordo com a norma brasileira NBR 15220 – Parte 1 (ABNT, 2005), não possui unidade física, pois é um quociente de duas taxas de radiação: a emitida por uma superfície e a de uma emitida por um corpo negro, quando as duas estão com a mesma temperatura.

O corpo negro, por ser uma superfície que não reflete nem transmite energia, é considerado como irradiador perfeito, já que toda a energia incidente é absorvida e será

posteriormente irradiada. É definido, portanto, que este corpo tem valor de emissividade unitário. Um espelho perfeito, ao contrário do corpo negro, tem a propriedade de refletir qualquer raio incidente e por isso tem sua emissividade fixada no valor zero (BRUSAMARELLO, 2013).

Sendo assim, a emissividade de superfícies será sempre um valor variante entre zero e a unidade.

A NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013) recomenda que se utilizem as normas técnicas JIS A 1423 ou ASTM C 1371 – 04a para a condução de experimentos laboratoriais destinados a aferição da emissividade de um material.

2.10 ABSORTÂNCIA À RADIAÇÃO SOLAR

Segundo Dornelles (2008), a radiação solar incidente no envelope afeta diretamente a temperatura interna do ambiente, e, portanto, o conforto térmico associado a ele. Entretanto, nem toda a radiação que sobrevém em uma superfície altera os conceitos citados acima. Parte desta energia solar é refletida, devido às características do material de construção utilizado, e parte dela é absorvida pelo mesmo.

A absortância à radiação solar é, portanto, definida como sendo o quociente da radiação solar que é efetivamente absorvida por uma superfície, em comparação ao total incidente sobre a mesma (ABNT NBR 15220 – Parte 1, 2005).

Conclui-se, portanto, que este dado é adimensional.

A NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013) define três diferentes normativas de ensaios de laboratório para determinar a absortância à luz solar de um determinado material. São elas: ANSI/ASHRAE 74/88, ASTM E1918-06 e ASTM E903-96. Adicionalmente a estes parâmetros, ela ainda cita que o parâmetro em questão deve ser definido de acordo com o material e a cor presente no elemento. Caso a cor do elemento de pintura da parede não esteja definida, a norma especifica que a absortância à radiação solar para cores claras, médias e escuras deve ser respectivamente, 0,3, 0,5 ou 0,7.

2.11 CARACTERÍSTICA FOTOENERGÉTICA

Segundo ARCOWEB (2004), quando a luz solar atinge uma placa de vidro, ela se divide de três formas. A primeira atravessa o vidro, penetrando no ambiente interno. A segunda, por sua vez, é refletida novamente ao meio externo. A terceira é absorvida pelo vidro, que se aquece e só então distribui essa energia novamente, parte ao exterior e parte ao interior.

O desempenho fotoenergético de um vidro é definido, pelo mesmo autor, como a combinação dos valores da radiação transmitida, refletiva e absorvida por ele, como mostra a Figura 7.

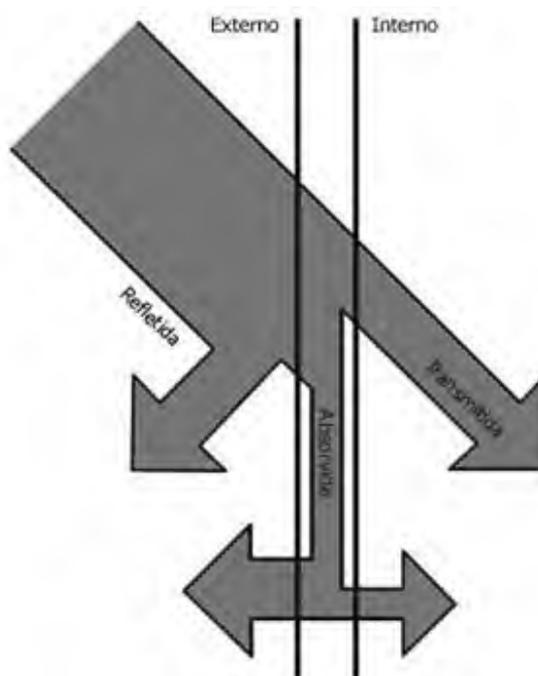


Figura 7 - Desempenho fotoenergético de um vidro
Fonte: ARCOWEB (2004).

A NBR 15575 – Parte 1 (2013) recomenda duas normas para avaliação deste desempenho de vidros. São elas: EN 410 – 1998 e EN 12898.

3 DESEMPENHO ACÚSTICO

A poluição sonora é um problema recorrente na atualidade. De acordo com Fellenberg (1980), as ondas sonoras das mais variadas fontes estão presentes continuamente no ambiente urbano. O som caracterizado por estas ondas, sempre que indesejado, é considerado como ruído. Esta classificação, entretanto, é subjetiva, o que dificulta uma interpretação precisa da poluição sonora.

Lacerda et al. (2005) apontam para o fato que 74% da população se sente incomodada com barulhos provenientes do ambiente externo, como trânsito, vizinhança, sirenes e barulhos de construção civil. Esta poluição, além da irritabilidade e baixa concentração, é também capaz de gerar dano físico grave e permanente ao afetado.

Segundo Jeon (2010), não é apenas o meio externo o responsável pela poluição sonora. O próprio sistema estrutural é responsável por gerar um caminho pelo qual se propagarão os ruídos sonoros de impactos e tubulações.

Muitas providências podem ser tomadas para que haja uma diminuição significativa da poluição sonora, segundo Fellenberg (1980). As principais delas, segundo o autor, são:

- Aperfeiçoar as fontes do ruído, projetando e construindo-as de forma a minimizar a poluição sonora produzida pelo seu funcionamento, utilizando métodos e materiais diferenciados.
- Eliminar a fonte de poluição sonora, através de, por exemplo, um bom planejamento urbano, evitando que áreas residenciais existam próximas a centros de alta atividade, principalmente noturna.
- Proteção contra os ruídos, fornecendo ao ambiente construído um melhor comportamento acústico através de, por exemplo, janelas com isolamento acústico e paredes e pisos constituídos com material também isolante.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) tem seu foco no terceiro elemento citado, definindo os níveis de requisitos acústicos das vedações externas, pisos e paredes internas, sistemas de cobertura e ruídos de impactos e equipamentos. Para tal, a norma utiliza o conceito físico de decibel.

3.1 ONDA SONORA

O som é caracterizado por uma flutuação de pressão em um meio compressível. Para tal, a geração de ruído é causada pela variação de pressão ou de velocidade das moléculas em um meio (GERGES, 2000).

Como característica de uma onda mecânica, portanto, o som não se propaga no vácuo. Sua propagação se dá através de meio físico, seja ele sólido ou fluido (FELLENBERG, 1980).

3.2 FREQUÊNCIA E PERÍODO

A frequência de uma onda, segundo Halliday et al. (2003), indica o número de oscilações, ou execuções, durante determinado período de tempo. Medida em Hertz, em homenagem ao físico alemão Heinrich Hertz, a frequência é matematicamente inversa ao período de uma onda.

O período de uma onda, por sua vez, é medido em segundos, e caracteriza-se por ser o tempo necessário para uma oscilação de determinada onda (GREF, 2005).

A Equação 4, de relação entre o período e a frequência de uma onda é, portanto:

$$f = \frac{1}{P} \quad (4)$$

Onde:

f = Frequência de onda;

P = Período de onda.

3.3 AMPLITUDE E COMPRIMENTO DE ONDA

O comprimento de onda, para Halliday et al. (2003) define-se pela distância entre um ciclo de repetições sucessivos em uma onda. Já a amplitude é a medida da oscilação de uma onda. Sua aplicação prática é mostrada na Figura 8

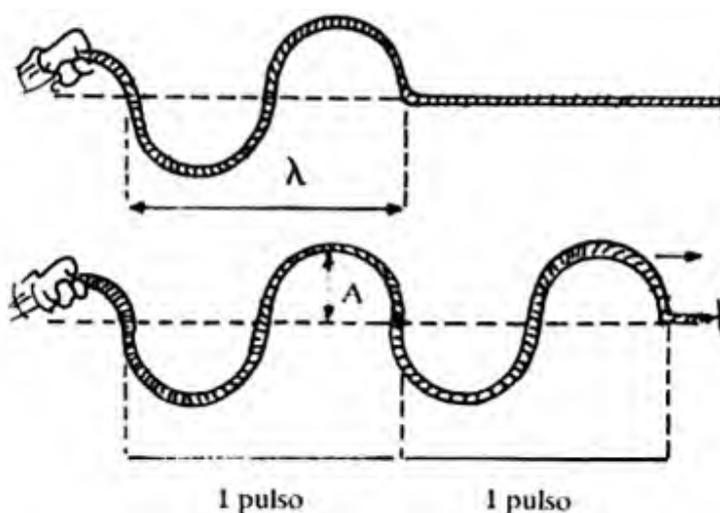


Figura 8 - Comprimento e amplitude de onda
Fonte: GREF (2005).

A amplitude é responsável pela vibração, e tem papel importante na reverberação de grandes estruturas, já que ela se refere à diferença dos níveis de pressão em relação ao tempo ou espaço (GREF, 2005).

3.4 VELOCIDADE DE ONDA

Definida por Halliday et al. (2003) como a relação entre o comprimento da onda e o seu período, a velocidade de uma onda mecânica, como é o caso do som, depende diretamente do material no qual ela está se propagando.

De acordo com GREF (2005), a velocidade da onda altera a frequência desta onda, e, portanto, interfere nos seus parâmetros audíveis. A Equação 5 descreve o cálculo da velocidade de uma onda.

$$v = \frac{\lambda}{P} = \lambda \cdot f \quad (5)$$

Onde:

v = Velocidade de onda;

λ = Comprimento de onda;

P = Período de onda;

f = Frequência de onda.

3.5 DECIBEL

O bel, segundo o INMETRO (2003, p. 35), “é utilizado para expressar o valor de grandezas logarítmicas, tais como nível de campo, nível de potência, nível de pressão acústica ou atenuação. Os logaritmos de base 10 são utilizados para se obter os valores numéricos das grandezas expressas em bels. O submúltiplo decimal decibel, dB, é de uso corrente”.

Segundo Gerges (2000), o nível de ruído capaz de provocar dor em um ser humano é na ordem de dez trilhões de vezes mais intenso que o som mais baixo que se pode escutar. É devido a esta amplitude que o decibel, por ser logarítmico e adimensional, torna-se um bom parâmetro de medição.

Define-se através do mesmo autor, portanto, que o decibel é capaz de quantificar diversos parâmetros físicos relativos ao som, como:

- Pressão sonora, em N/m^2 , é a variação da pressão do som emitido, percebido por um observador qualquer, em relação à pressão atmosférica. É calculado sempre tomando como referência uma pressão de $20\mu Pa$, que é o limiar da audição em uma frequência de 1000Hz.

- Intensidade sonora, em W/m^2 , é a medida da percepção, humana ou não, da amplitude de determinada onda sonora, conhecida popularmente como volume.
- Potência sonora, medida em Watt, é o total da energia acústica emitida por uma fonte, durante período de tempo de um segundo.

Os parâmetros de conforto humano variam, entretanto, com a frequência sonora. Um ruído de 120dB é suportado relativamente bem, caso tenha uma baixa frequência, até 350Hz. Quando isto é elevado a cerca de 3000Hz, apenas sons de até 80dB são suportados sem danos ao sistema auditivo (FELLENBERG, 1980).

A NBR 15575 (ABNT, 2013), utiliza os níveis de pressão sonora, em decibéis, para quantificar os ruídos presentes em uma edificação.

Esta pressão, segundo WUENSCHÉ (2006), é diretamente influenciada pela velocidade. Uma forma de observação deste fato é quando uma bexiga de ar é esvaziada. Se o ar se perder vagorosamente, pela boca da bexiga, o ruído produzido será muito leve. Já se a bexiga for estourada, a velocidade com que a pressão das moléculas de ar se altera é muito maior, e, portanto, um ruído alto é verificado.

Através disto, ela limita estes valores, que são oriundos de fontes externas e internas à edificação, e transmitidos através do ar ou dos componentes que compõe o edifício.

O decibel está diretamente relacionado, ainda, com o tempo de reverberação, que segundo Fellenberg (1980), é o tempo necessário para que uma pressão sonora, para determinado recinto e banda de frequência, decresça em 60 dB.

3.6 PRESSÃO SONORA DE IMPACTO PADRONIZADO PONDERADO

Utilizado amplamente pela NBR 15575 (ABNT, 2013), a pressão sonora de impacto padronizado ponderado é, segundo Gracey (2013), baseada na pressão de impacto do som em determinada frequência, em bandas de oitava, corrigida para um tempo de reverberação de 0,5 segundos.

Os valores de relação citados pela norma correspondem a dados representativos de ensaios realizados em pisos de concreto maciço, com espessuras variáveis de 10 cm a 12 cm (ECOSILENZIO, 2013).

3.7 DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA

Segundo Silva (2013), a diferença padronizada de nível ponderada é característica do isolamento aéreo em edificações. Seu valor é derivado dos valores, em bandas de oitava ou terços de oitava, da diferença padronizada de nível entre ambiente, aferida através de equipamento especializado e processo específico.

A NBR 15575 (ABNT, 2003) faz uso deste conceito para definição do desempenho de edificações segundo os ruídos transmitidos pelo ar.

O Quadro 2, abaixo, estabelece a relação de inteligibilidade da fala humana, de cerca de 35 dB, em relação ao isolamento acústico necessário requisitado, segundo a diferença padronizada de nível ponderada. Para isto, de acordo com a classificação da fala, na coluna da esquerda, se estabelece um mínimo de isolamento acústico para atendimento ao desempenho requerido da edificação.

Inteligibilidade de fala alta no recinto adjacente	Isolamento sonoro, $D_{nT,w}$
Claramente audível: ouve e entende	35
Audível: ouve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45
Não audível	≥ 50

Quadro 2 - Inteligibilidade de fala

Fonte: NBR 15575 – Parte 4 (ABNT, 2013).

3.8 ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA PONDERADO

Segundo Pinto (2011), o índice de redução sonora ponderado, medido através de terços de banda de oitava de frequência de 100 Hz a 3150 Hz, é um índice de redução do som transportado pelo ar. Este coeficiente, segundo o mesmo autor, equivale à diferença de nível correspondente ao valor do receptor do som, em relação ao nível emitido pela fonte.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho de conclusão de curso tem como classificação, de acordo com o enfoque da pesquisa efetivada, como uma pesquisa qualitativa. Para Lima (2001), este modelo de pesquisa baseia-se na compreensão do contexto do objeto de estudo. Adicionalmente, Minayo e Sanches (1993) consideram a pesquisa qualitativa como uma aproximação fundamental entre o objeto e seu sujeito, onde o primeiro é o ambiente da pesquisa, e o segundo é seu instrumento.

Segundo o objetivo do trabalho aqui apresentado, baseando-se na delimitação do tema, sua caracterização é de pesquisa exploratória, que segundo Gil (2002), visa proporcionar a familiaridade com o problema e o aprimoramento de ideias relacionadas à delimitação inicial.

Já, se tomados como base os procedimentos técnicos utilizados no desenvolvimento da pesquisa, é possível classificá-la como bibliográfica e documental.

Para Gil (2002), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida através de material já elaborado, propriedade característica de trabalhos exploratórios. A grande vantagem deste tipo de pesquisa é a cobertura de um maior número de fenômenos.

A pesquisa documental, por sua vez, se vale de materiais que ainda não receberam um tratamento analítico, como dados de empresas e projetos, cartas, diários, memoriais descritivos, entre outros. Este tipo de pesquisa difere da bibliográfica por ter como característica a obtenção de dados e conclusões novas, oriundas dos documentos analisados.

Os documentos que serão tratados neste trabalho tratam-se de projetos arquitetônicos oriundos de construtoras regionais. Estes projetos têm como característica a conformidade com as regras exigidas pelos bancos Caixa Econômica Federal e Banco do Brasil para o financiamento da obra através do Programa Minha Casa Minha Vida – PMCMV – Recursos FAR (Fundo de Arrendamento Residencial), os mesmos órgãos que devem fazer valer a necessidade dos testes, e verificação dos requisitos mínimos de desempenho, térmico e acústico, dentro da norma NBR 15575:2013.

Todos os projetos utilizados foram executados, ou estão em fase de construção. Sendo assim, foram pré-aprovados na prefeitura municipal de sua localidade, e seguem todas as exigências técnicas especificadas pelas leis federais, estaduais e municipais, incluindo códigos de obras.

Assim sendo, organiza-se uma sequência lógica a ser seguida para a execução do trabalho, realizando assim todos os objetivos estabelecidos previamente. Este fluxograma é mostrado na Figura 9.

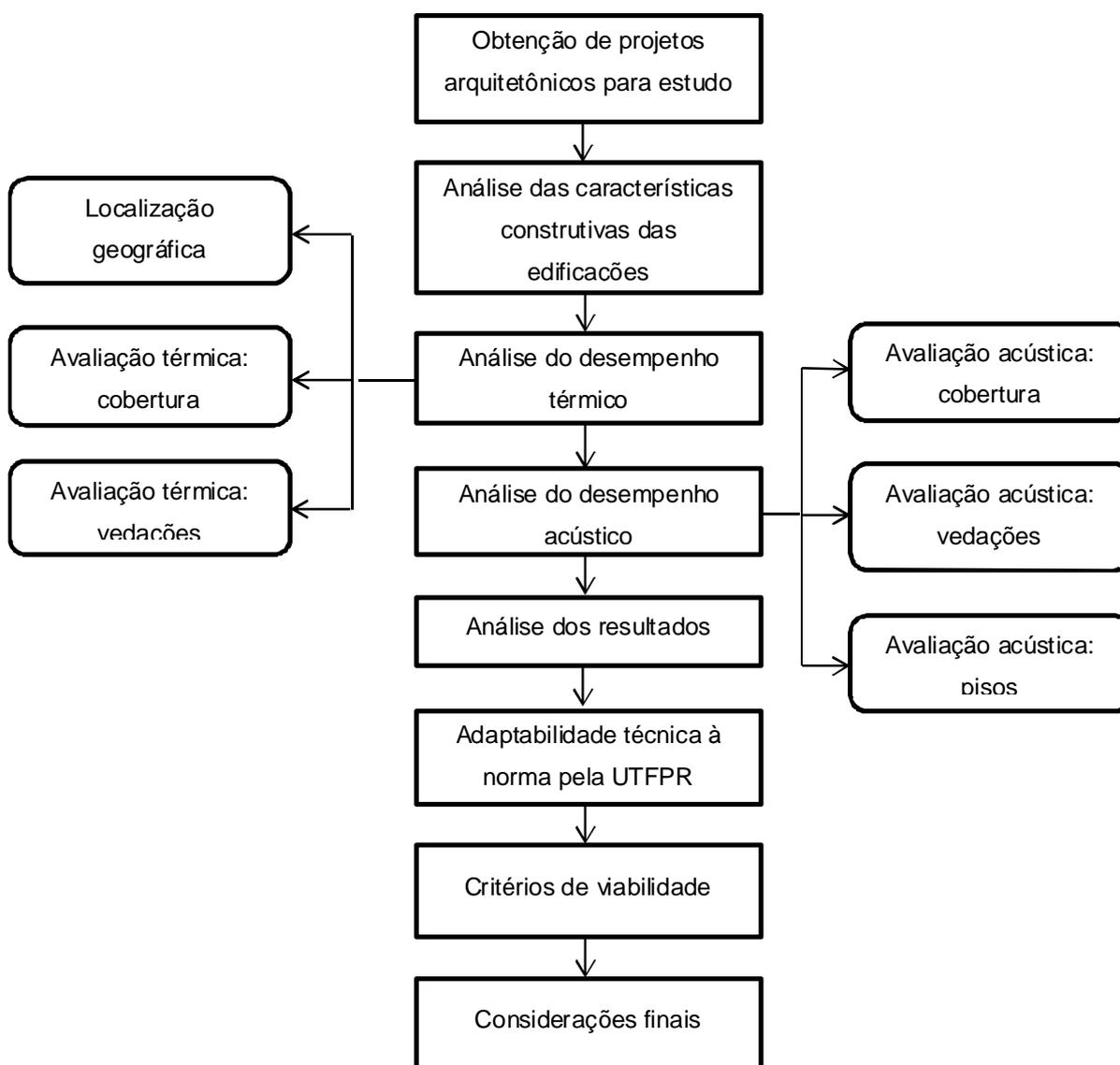


Figura 9 - Fluxograma das atividades

Fonte: Autoria própria (2013).

4.1 METODOLOGIA DOS ENSAIOS

Os ensaios deste trabalho tem como objetivo a caracterização do nível de desempenho termo-acústico das edificações estudadas. Para tal, é utilizada a NBR 15575 (ABNT, 2013), que caracteriza tais níveis de desempenho como mínimo (M), intermediário (I) e superior (S).

4.1.1 Desempenho Térmico

O desempenho térmico das edificações oriundas dos projetos arquitetônicos obtidos foi avaliado de acordo com as especificações técnicas da NBR 15575 (ABNT, 2013). Para tal, dividiu-se o projeto segundo suas etapas construtivas, adequando assim a divisão proposta pela mesma norma. Ainda segundo ela, há a determinação que a edificação atenda ao exigido pelo processo simplificado, regido pela própria norma, ou então, caso o primeiro não seja contemplado, a obra será avaliada através de método computacional.

4.1.1.1 Requisitos Gerais

Para a análise térmica da edificação segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), antes de tudo, deve-se definir em qual zona bioclimática a localidade se encontra. Isto é feito através do mapa mostrado na Figura 10.

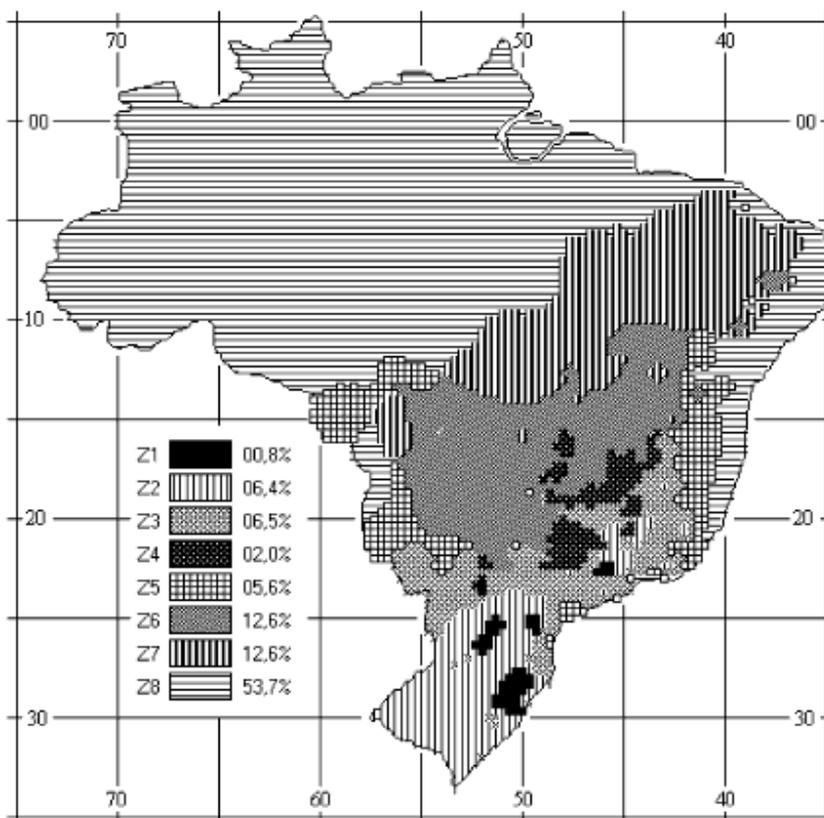


Figura 10 - Zoneamento bioclimático brasileiro
Fonte: NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005).

Além disto, deve-se estar de posse das informações de detalhes construtivos da obra, conhecendo, portanto o método de construção, os materiais e acabamentos que serão utilizados, bem como sua localização na cidade, edificações adjacentes e posicionamento em relação ao sol.

A NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005) define, de acordo com cada região bioclimática, alguns dos parâmetros citados acima, como tamanho das aberturas de ventilação, tipos de sistemas de vedação externa e interna, tipos de coberturas, entre outros. Além disto, a mesma norma ainda estabelece critérios de condicionamento térmico passivo nas edificações.

Ainda como requisito geral, a NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013) define que, para o dia típico de verão, especificado segundo a região bioclimática, deve-se atender ao requisito mínimo de temperatura interna da edificação, como definido no Quadro 3.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1^{\circ}\text{C})$
$T_{i,max}$ e o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,max}$ e o valor máximo diário da temperatura do ar exterior a edificação, em graus Celsius; $T_{i,min}$ e o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ e o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior a edificação, em graus Celsius.		

Quadro 3 - Desempenho da edificação no verão

Fonte: NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013).

De modo semelhante, a norma também define, para o dia típico de inverno, as temperaturas internas à edificação, para cada região bioclimática. Os dados são exibidos no Quadro 4.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$	
$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.		

Quadro 4 - Desempenho da edificação no inverno

Fonte: NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013).

4.1.1.2 Sistema Vertical de Vedações Externas e Internas

A NBR 15575 (ABNT, 2013) define os sistemas de vedações verticais, tanto internos quanto externos, através de suas propriedades físicas referentes ao calor, e também quanto à ventilação apresentada pelos ambientes.

A norma limita a transmitância térmica e a capacidade térmica das paredes de acordo com a região bioclimática definida. O Quadro 5 define os valores de transmitância térmica admitidos.

Transmitância Térmica U		
W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α ≤ 0,6	α > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Quadro 5 - Transmitância térmica de paredes externas

Fonte: NBR 15575 – Parte 4 (ABNT, 2013).

De modo semelhante, o Quadro 6 apresenta valores normativos para a capacidade térmica de paredes externas.

Capacidade térmica (CT)	
kJ / m ² .K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Quadro 6 - Capacidade térmica de paredes externas

Fonte: NBR 15575 – Parte 4 (ABNT, 2013).

Para o cálculo destes coeficientes, a norma citada indica o método apresentado na NBR 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005), que é considerado como simplificado para os efeitos deste processo.

Se tratando do sistema de ventilação de ambientes, a NBR 15575 (ABNT, 2013) define que as aberturas para ventilação devem atender a legislação específica no local da obra, incluindo Códigos de Obras, Códigos Sanitários, entre outros. Entretanto, quando não há este tipo de regulamentação, a norma em questão admite que, para cada cômodo da edificação, respeitem-se os requisitos apresentados no Quadro 7.

Nível de desempenho	Aberturas para Ventilação	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo	Aberturas médias	Aberturas grandes
	A ≥ 7% da área de piso	A ≥ 12 % da área de piso REGIÃO NORTE DO BRASIL A ≥ 8 % da área de piso REGIÃO NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL
Nota: nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		

Quadro 7 - Área mínima de ventilação de ambientes

Fonte: NBR 15575 – Parte 4 (ABNT, 2013).

4.1.1.3 Sistema de Cobertura

No sistema de cobertura da edificação, a NBR 15575 (ABNT, 2013) define valores de transmitância térmica considerando um fluxo de calor descendente. Estes valores, segundo a norma, são calculados simplificadaamente de acordo com o método citado na NBR 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005).

O Quadro 8 define os níveis mínimos, intermediários e superiores de desempenho térmico do sistema de cobertura.

Transmitância térmica (U)- W/m ² K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8		Nível de desempenho
U ≤ 2,3	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4	M
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
U ≤ 1,5	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4	I
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV	
U ≤ 1,0	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4	S
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV	

1) Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.

NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220/2.

Quadro 8 - Níveis de desempenho térmico de coberturas

Fonte: NBR 15575 – Parte 5 (ABNT, 2013).

4.1.1.4 Método de Cálculo: ABNT NBR 15220/2005

A NBR 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005) apresenta as fórmulas necessárias para o cálculo das transmitâncias e capacidades térmicas de elementos e suas composições, necessárias para a avaliação do desempenho térmico de edificações.

Para isto, em seus anexos, ela especifica dados como a absorvância à radiação solar, densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico de diversos materiais.

Segundo esta norma, deve-se primeiro realizar o cálculo da resistência térmica de um componente. O procedimento de cálculo proposto varia com as características físicas e geométricas do composto, de acordo com a homogeneidade das camadas de materiais e com a direção do fluxo de calor.

Quando conhecida a resistência térmica, parte-se para o cálculo da transmitância térmica do componente, que é realizado de acordo com a Equação 6.

$$U = 1 / \sum_{i=1}^n R_i \quad (6)$$

Onde:

U = Transmitância térmica;

R = Resistência térmica;

A capacidade térmica de cada componente também tem seu método de cálculo especificado pela norma NBR 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005). A Equação 7 descreve este cálculo.

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (7)$$

Onde:

C_T = Capacidade térmica do componente;

λ_i = Condutividade térmica do material na camada;

R_i = Resistência térmica do material na camada;

e_i = Espessura do material na camada;

c_i = Calor específico do material na camada;

ρ_i = Densidade aparente do material na camada.

Além disto, a NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005) ainda apresenta diferentes características do zoneamento bioclimático brasileiro, bem como, em seus anexos, valores de transmitâncias térmicas e capacidades térmicas para os sistemas de vedação e cobertura mais utilizados em âmbito nacional.

4.1.1.5 Avaliação Computacional

A avaliação térmica através de *software* se faz necessária, segundo a NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013, p.19), “para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nesta norma resultem em desempenho térmico insatisfatório”.

Para a análise computacional, segundo a mesma norma deve-se utilizar um programa capaz de determinar o comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposições ao clima, sendo, portanto, capaz de reproduzir os efeitos de inércia térmica da edificação. Além disto, o *software* utilizado deve obrigatoriamente estar em conformidade com o exigido pela norma ASHRAE 140.

Neste trabalho, mesmo que se comprove o correto desempenho térmico através do método de cálculo da NBR 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005), para efeito de comparação, as edificações serão simuladas no *software HEED: Home Energy Efficient Design*.

Este programa, desenvolvido pela Universidade da Califórnia em Los Angeles, utiliza os métodos recomendados pela ASHRAE para calcular o balanço térmico para cada hora do ano, através de dados térmicos importados do banco de dados *EnergyPlus*.

Sendo assim, é possível comparar os dados de retorno com os dias típicos de verão e inverno, e verificar, portanto, o atendimento à norma.

4.1.2 Desempenho Acústico

A avaliação do desempenho acústico das edificações deste trabalho foi executada de acordo com as especificações previstas pela NBR 15575 (ABNT, 2013). O projeto, seguindo o mesmo raciocínio da avaliação de desempenho térmico, será dividido em suas etapas construtivas, de acordo com o previsto na norma.

4.1.2.1 Requisitos Gerais

De acordo com a NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013), a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústica das vedações externas, dos ambientes internos e dos ruídos provenientes de impactos.

Adicionalmente a isto, a NBR 15575 – Parte 6 (ABNT, 2013) refere-se aos ruídos oriundos das instalações hidrossanitárias de edificações, estabelecendo seus limites de desempenho.

4.1.2.2 Sistema de Pisos

A NBR 15575 – Parte 3 (ABNT, 2013) considera que a transmissão de ruído através do sistema de pisos ocorre de duas maneiras distintas: ruído de impacto e ruído aéreo.

A avaliação do ruído gerado por impacto é feita, segundo a norma citada, em todos os dormitórios da edificação, com portas e janelas fechadas. Utilizando-se o equipamento adequado, se determina os valores do nível de pressão sonora padrão ponderado.

A norma em questão define também os limites que caracterizam o desempenho do sistema de pisos em relação ao impacto. Tais valores são apresentados no Quadro 9.

Elemento	L'nT,w	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 55	S

Quadro 9 - Desempenho do sistema de pisos a ruídos de impacto

Fonte: NBR 15575 – Parte 3 (ABNT, 2013).

Em relação ao ruído aéreo, proveniente de conversas, televisores, músicas, entre outros, a NBR 15575 – Parte 3 (ABNT, 2013) exige, assim como anteriormente, que os dormitórios da edificação sejam analisados.

Para isto, com portas e janelas fechadas, deve ser definido o valor da diferença padronizada de nível ponderada entre o emissor e o receptor de ruído. Os valores característicos de desempenho estabelecidos pela norma para este dado são dispostos no Quadro 10.

Elemento	DnT,w dB	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Quadro 10 - Desempenho do sistema de pisos a ruídos aéreos

Fonte: NBR 15575 – Parte 3 (ABNT, 2013).

4.1.2.3 Sistema Vertical de Vedações Externas e Internas

A NBR 15575 – Parte 4 (ABNT, 2013) exige que, para os sistemas de vedações, sejam analisados os critérios de desempenho acústico internos e externos à edificação.

Verificando-se os dormitórios da edificação em ensaio de campo, com portas e janelas fechadas, os valores de diferença padronizada de nível ponderado, medidos a 2 m da parede em questão, devem respeitar o requisitado pelo Quadro 11.

Classe de ruído	Localização da habitação	D _{2m,nT,w}	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Quadro 11 - Desempenho de vedações externas a ruídos aéreos
Fonte: NBR 15575 – Parte 4 (ABNT, 2013).

Além disto, é necessário que se afira a diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação existente entre os ambientes da edificação, em ensaio de campo. Para tal, com portas e janelas fechadas, a caracterização do desempenho acústico se dá segundo o Quadro 12.

Elemento	DnT,w	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso em que pelo menos um dos ambientes é dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥ 40	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall (DnT,w obtida entre as unidades).	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S

Quadro 12 - Desempenho de vedações internas a ruídos aéreos
Fonte: NBR 15575 – Parte 4 (ABNT, 2013).

Os valores apresentados nos Quadros 11 e 12, por se tratarem de níveis de ruído encontrados em ensaios de campo, não podem ser diretamente aplicados na fase de projeto da edificação.

Devido a este fato, o conceito de índice de redução sonora ponderado é utilizado, caracterizando, portanto, não o sistema global quanto ao seu desempenho, mas sim o material de construção em separado, o que possibilita o cálculo estimativo do desempenho acústico dos sistemas da edificação.

O Quadro 13, de modo similar ao Quadro 11, mostra, conforme a localidade da edificação, os níveis de desempenho segundo o índice de redução sonora ponderado de fachadas.

Classe de ruído	Localização da habitação	R _w	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 35	M
		≥ 40	I
		≥ 45	S

Quadro 13 - Desempenho de vedações externas para cálculo em projeto
Fonte: NBR 15575 – Parte 4 (ABNT, 2013).

O Quadro 14, por sua vez, mostra os índices de redução sonora ponderados de componentes de vedação interna.

Elemento	R _w	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso em que pelo menos um dos ambientes é dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥ 45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall (D _{nT,w} obtida entre as unidades).	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Quadro 14 - Desempenho de vedações internas para cálculo em projeto
Fonte: NBR 15575 – Parte 4 (ABNT, 2013).

4.1.2.4 Sistema de Cobertura

Segundo a NBR 15575 – Parte 5 (ABNT, 2013), devem ser analisadas as coberturas de edificações quanto ao seu desempenho acústico, caracterizadas ou não pela acessibilidade ao uso coletivo.

Os testes realizados na edificação, em campo, devem ser executados com portas e janelas totalmente fechados, assim como entregue pela empresa construtora da edificação

No que se refere ao isolamento acústico de sons aéreos, a norma define valores mínimos de diferença padronizada de nível ponderada, conforme mostrados no Quadro 15. Tais valores devem ser medidos a 2m de distância entre o ponto emissor do ruído de teste e a parede da edificação.

Classe de ruído	Localização da habitação	DnT,w	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Quadro 15 - Desempenho da cobertura a ruídos aéreos
Fonte: NBR 15575 – Parte 5 (ABNT, 2013).

Adicionalmente ao Quadro 15, quando a cobertura tem acesso para uso coletivo, exige-se que a mesma tenha um bom desempenho quanto ao som resultante de ruídos de impacto gerados por quedas de objetos, passos, entre outros.

Sendo assim, a NBR 15575 – Parte 5 (ABNT, 2013) define que devem ser analisados os dormitórios e as salas de estar das edificações quanto ao nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado. O Quadro 16 estabelece os limites deste dado de acordo com os níveis de desempenho acústico.

Elemento	$L'_{nT,w}$	Nível de Desempenho
Cobertura acessível, de uso coletivo (Pessoas)	≤ 55	M
	≤ 50	I
	≤ 45	S

Quadro 16 - Desempenho da cobertura a ruídos de impacto
Fonte: NBR 15575 – Parte 5 (ABNT, 2013).

4.1.2.5 Sistemas Hidrossanitários

Além dos ruídos provenientes de atividades humanas, tais como conversa, tráfego de pedestres ou veículos, quedas de objetos, entre outros, a NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013) e NBR 15575 – Parte 6 (ABNT, 2013) defines limites de ruído de equipamentos prediais e sistemas hidrossanitários, respectivamente.

O nível de desempenho, segundo a norma, deve ser medido nos dormitórios da edificação, com portas e janelas fechadas, sendo executado um ciclo completo de operação do equipamento ou sistema.

Deve-se, portanto, verificar o “nível de pressão sonora contínuo equivalente padronizado de um ciclo de operação do equipamento predial, bem como o nível de pressão sonora máximo do ruído gerado pela operação do equipamento” (NBR 15575 – Parte 3, ABNT, 2013, p. 30).

Definem-se então os limites de desempenho destas medições, segundo o Quadro 17.

$L_{A_{max},nT}$	$L_{Aeq,nT}$	Nível de desempenho
≤ 36	≤ 30	S
≤ 39	≤ 34	I
≤ 42	≤ 37	M

Quadro 17 - Níveis de desempenho de equipamentos e sistemas hidrossanitários

Fonte: Adaptado da NBR 15575 – Parte 6 (ABNT, 2013).

Apesar de recomendados, a norma não exige que os ruídos gerados por equipamentos prediais e sistemas hidrossanitários sejam controlados, fazendo com que, portanto, seu desempenho tenha caráter opcional.

4.1.2.6 Métodos de Avaliação Acústica

Para realizar as análises acústicas de edificações em suas variadas etapas, a NBR 15575 (ABNT, 2013) especifica três diferentes métodos de ensaio. Cada um deles requer diferentes equipamentos, métodos e processos normativos.

O primeiro método especificado pela norma é o método de engenharia, realizado em campo, que determina de forma rigorosa os parâmetros acústicos que caracterizam o desempenho acústico das edificações. Segundo a norma, este é o método ideal para medições de dados quando a obra se encontra em estado finalizado.

O segundo método, denominado simplificado, permite obter uma estimativa das características globais de níveis de ruído na edificação. Entretanto, este método só deve ser utilizado quando não se dispõe de instrumentação necessária para a realização do método de engenharia, quando não é possível medir o tempo de reverberação, ou quando há muito ruído de fundo.

O terceiro método é o único passível de ser utilizado em fase de projeto. Para tal, são necessários diversos ensaios em laboratório, que atribuem à cada material de construção seu respectivo índice de redução sonora ponderado, e, portanto, permitem a estimativa do desempenho acústico global da edificação.

Quando é feita a análise acústica ainda em fase de projeto, utilizando o terceiro método de caracterização, a NBR 15575 (ABNT, 2013) exige que sejam atingidos níveis maiores de desempenho, visto que a edificação real apresenta defeitos como aberturas em portas, trincas e pequenas aberturas de janelas, que acabam por reduzir o desempenho acústico global da edificação.

Na análise acústica dos projetos arquitetônicos utilizados neste trabalho, é utilizado o terceiro método citado. Para isto, com dados de bibliografia, são calculados

os valores de isolamento térmico das edificações utilizando a Equação 8, citada pela CBIC (2013).

$$R_{w,total} = 10 \cdot \log \left(\frac{\sum_{i=0}^{i=n} S_i}{\sum_{i=0}^{i=n} S_i \cdot 10^{\frac{-R_{w,i}}{10}}} \right) \quad (8)$$

Onde:

$R_{w,total}$ = Índice de redução sonora total do componente;

S_i = Área de cada componente;

R_i = Índice de redução sonora do material;

4.1.3 Análise da Adaptabilidade Técnica da UTFPR

Ao fim da análise técnica dos projetos, realizou-se um levantamento das condições relativas às limitações deste trabalho, existentes na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *câmpus* Pato Branco.

Para isto, foram levantadas as condições existentes de laboratório, além da verificação de espaço físico para possível criação de um novo ambiente destinado à avaliação termo-acústica de edificações.

Realizou-se também a análise de materiais e equipamentos necessários para que, de acordo com a NBR 15575:2013, se torne possível a caracterização, tanto educacional quanto para fins comerciais, de edificações, materiais e sistemas utilizados na região de abrangência.

Além disto, foram levantadas as condições de pessoal técnico e de equipamentos já existentes na universidade, para que seja possível a quantificação dos requisitos finais.

5 ANÁLISES E RESULTADOS

Analisou-se, segundo os critérios e normas anteriormente citadas, os projetos residenciais de seis edificações da região de Pato Branco – PR. Estes projetos, aprovados segundo os códigos de obras de suas respectivas cidades, já haviam sido executados quando da elaboração deste trabalho acadêmico.

Ainda neste trabalho, estes projetos serão referidos como residências-modelo, e numeradas de um a seis. As plantas baixas e fachadas dos mesmos são apresentadas nas Figuras 11 a 22.

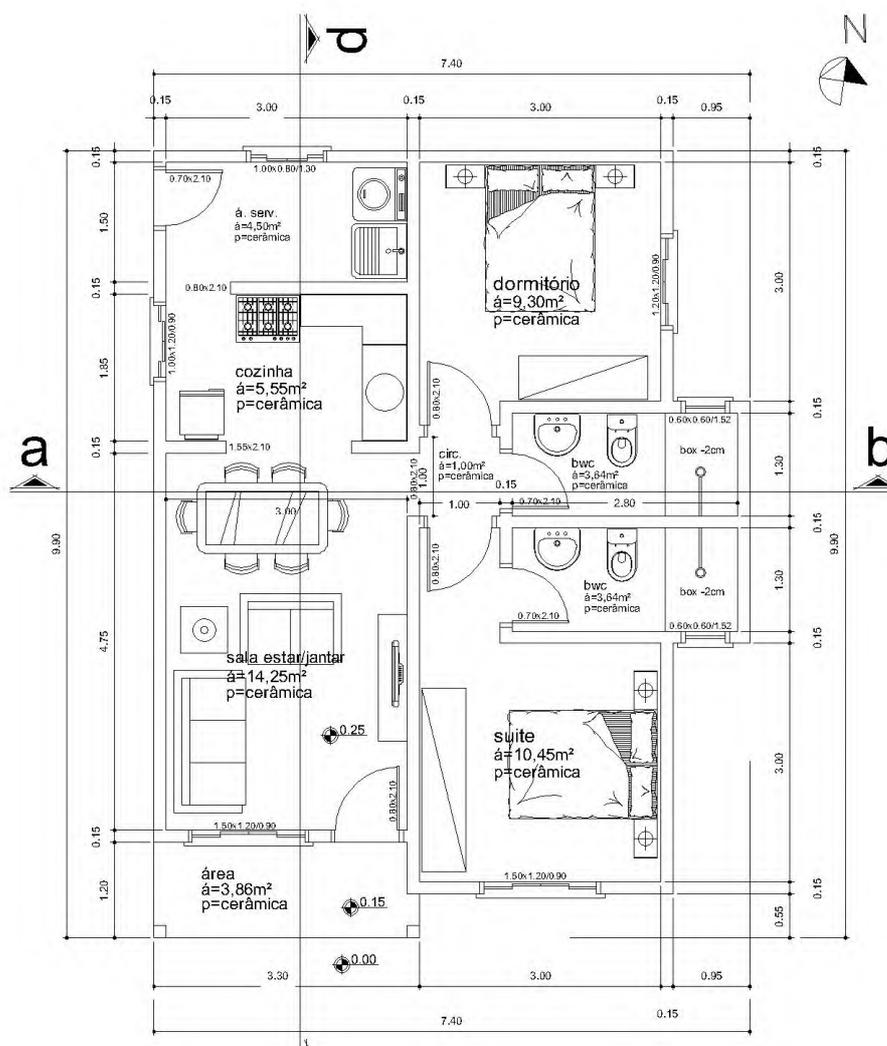


Figura 11 – Planta baixa: Modelo 1
Fonte: Duo Arquitetura e Engenharia (2014).

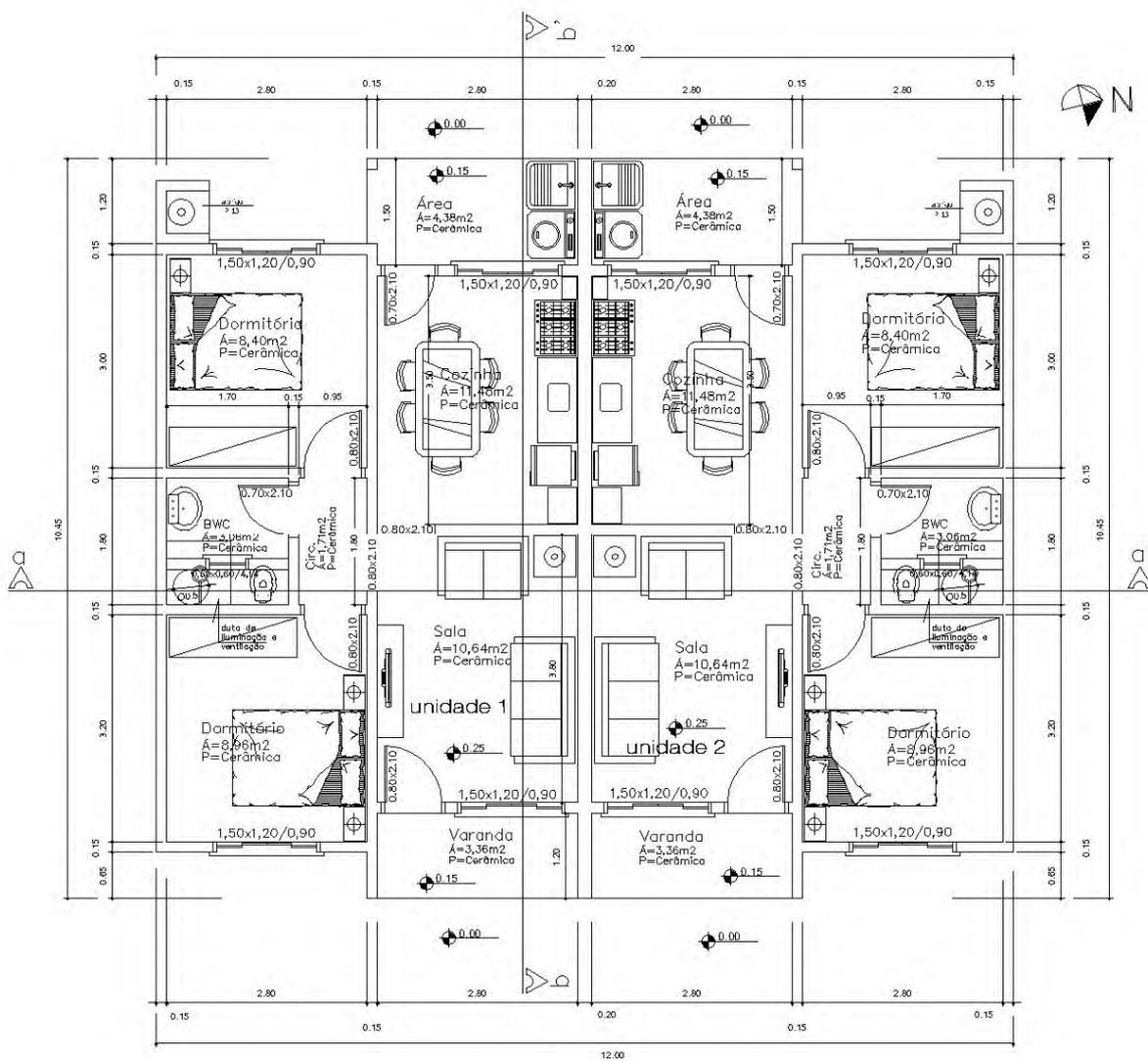


Figura 12 – Planta baixa: Modelo 2
Fonte: Duo Arquitetura e Engenharia (2014).

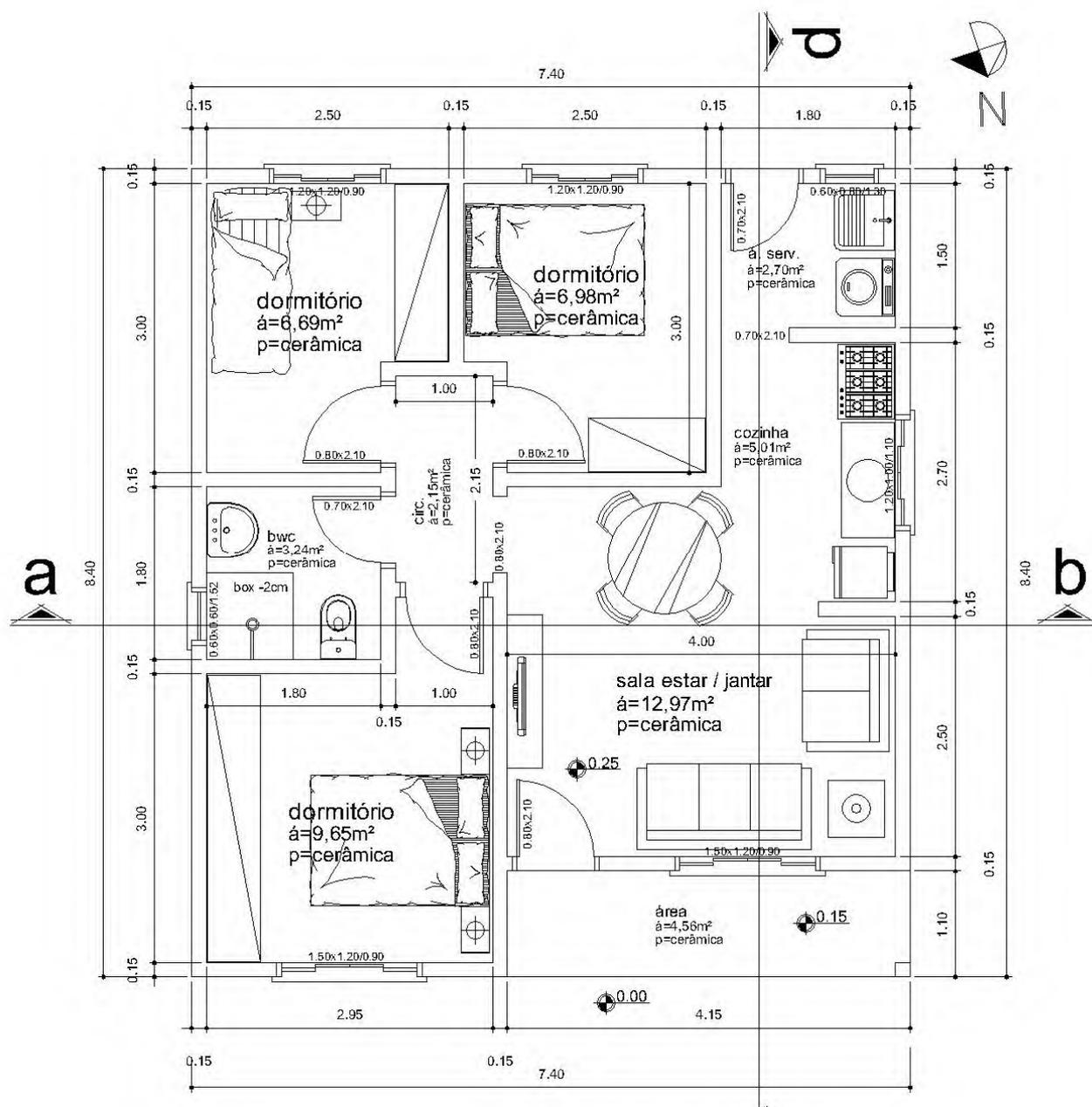


Figura 13 – Planta baixa: Modelo 3
 Fonte: Duo Arquitetura e Engenharia (2014).

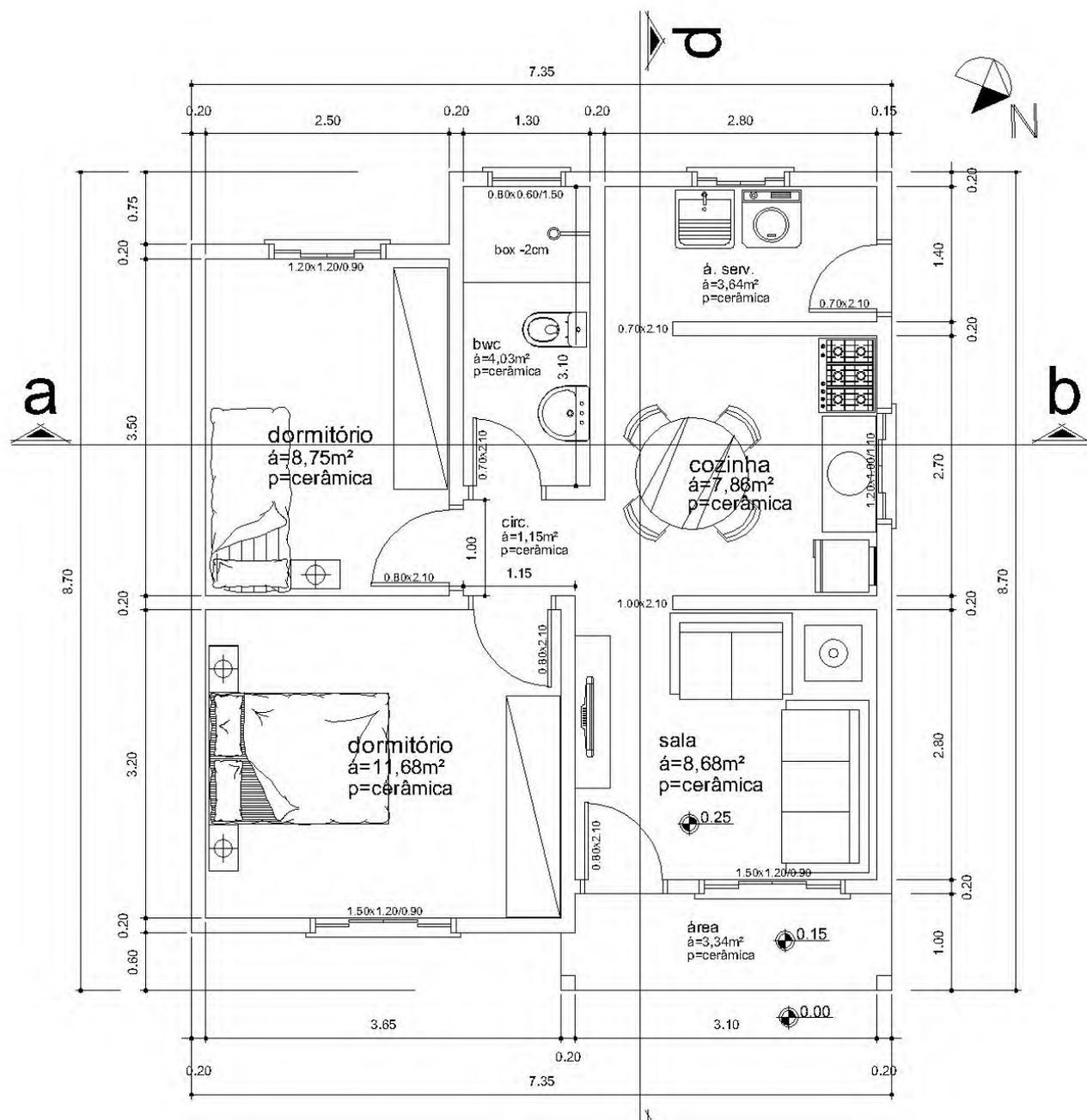


Figura 14 – Planta baixa: Modelo 4
 Fonte: Duo Arquitetura e Engenharia (2014).

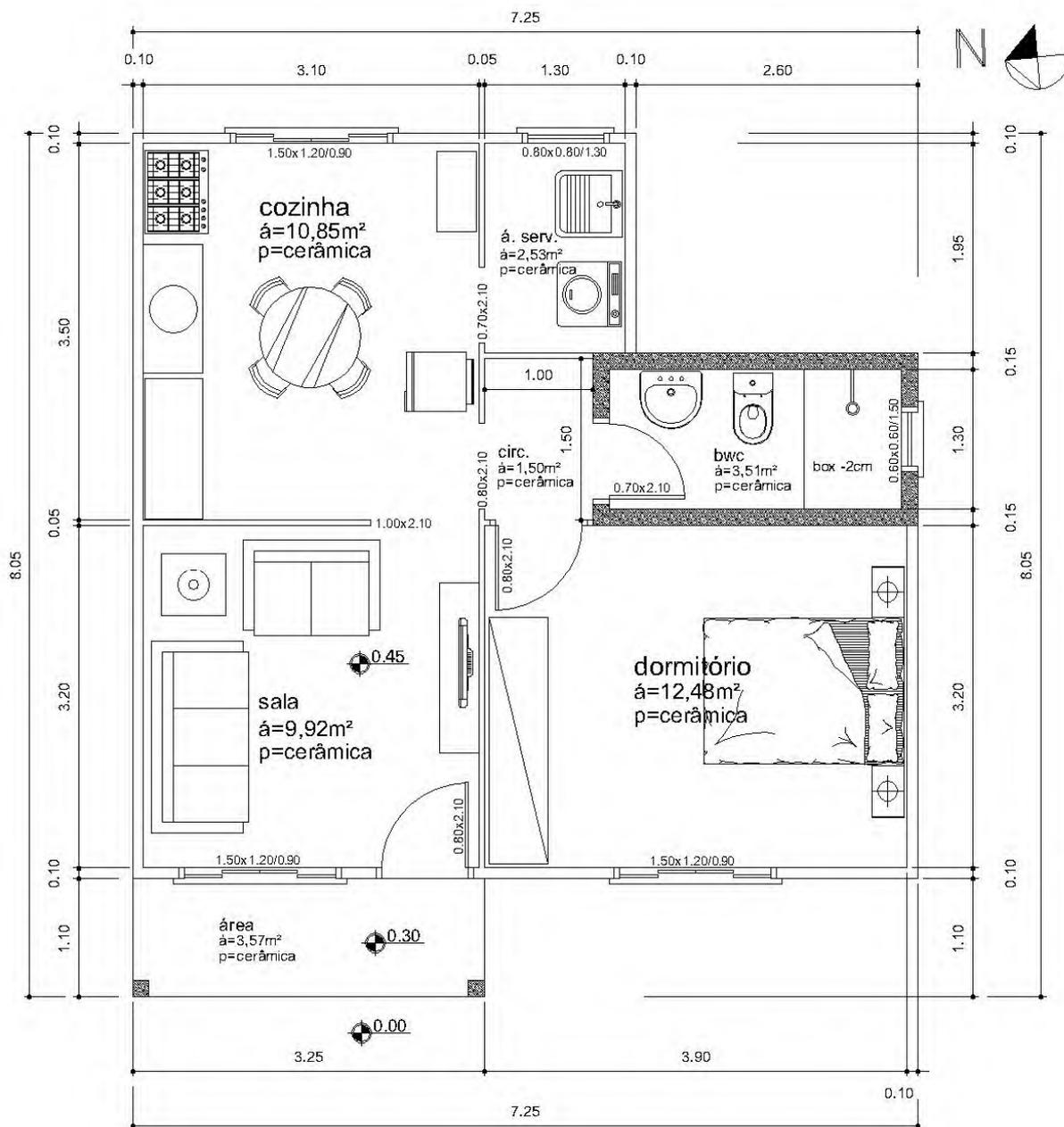


Figura 15 – Planta baixa: Modelo 5
 Fonte: Duo Arquitetura e Engenharia (2014).

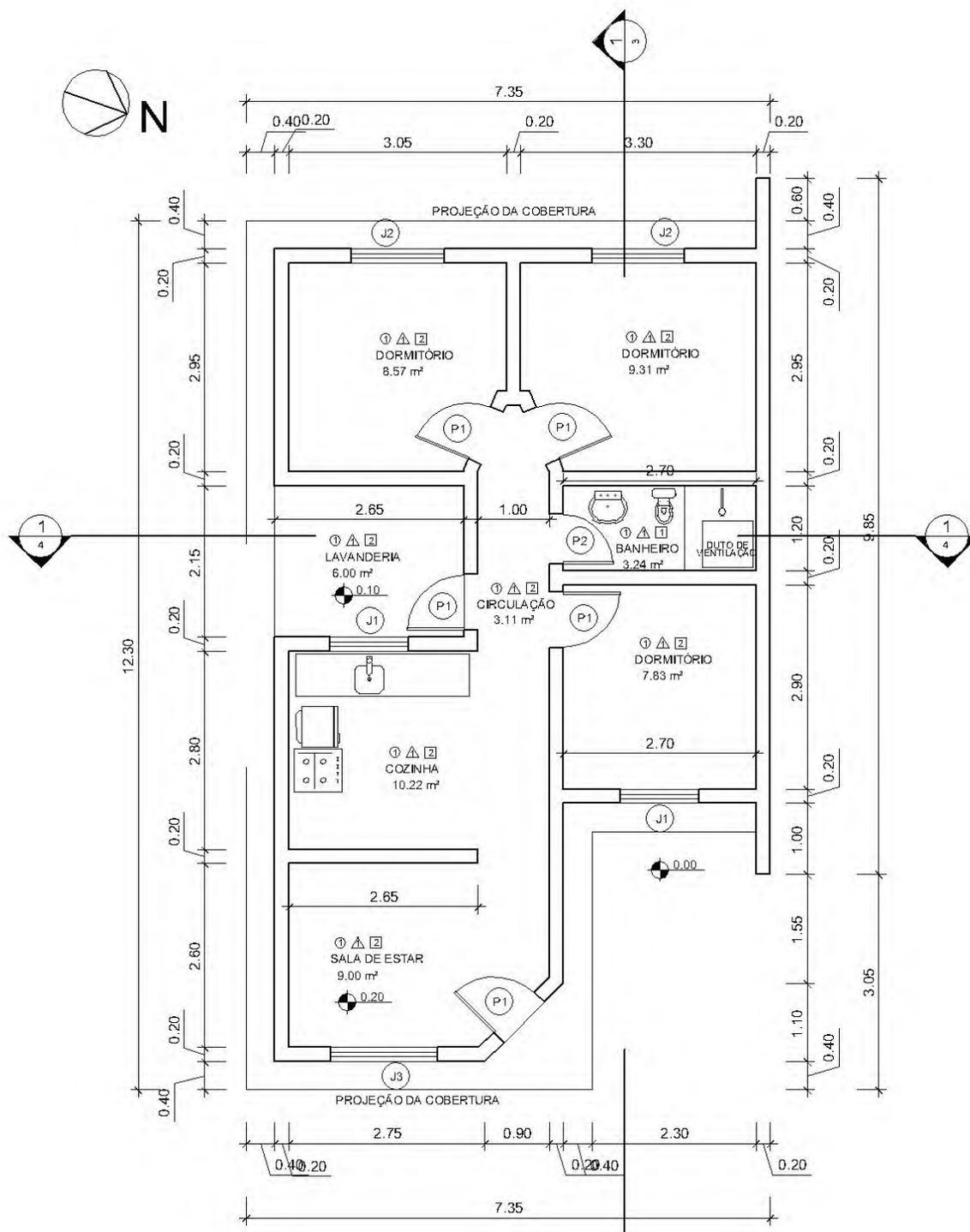


Figura 16 – Planta baixa: Modelo 6
Fonte: Duo Arquitetura e Engenharia (2014).

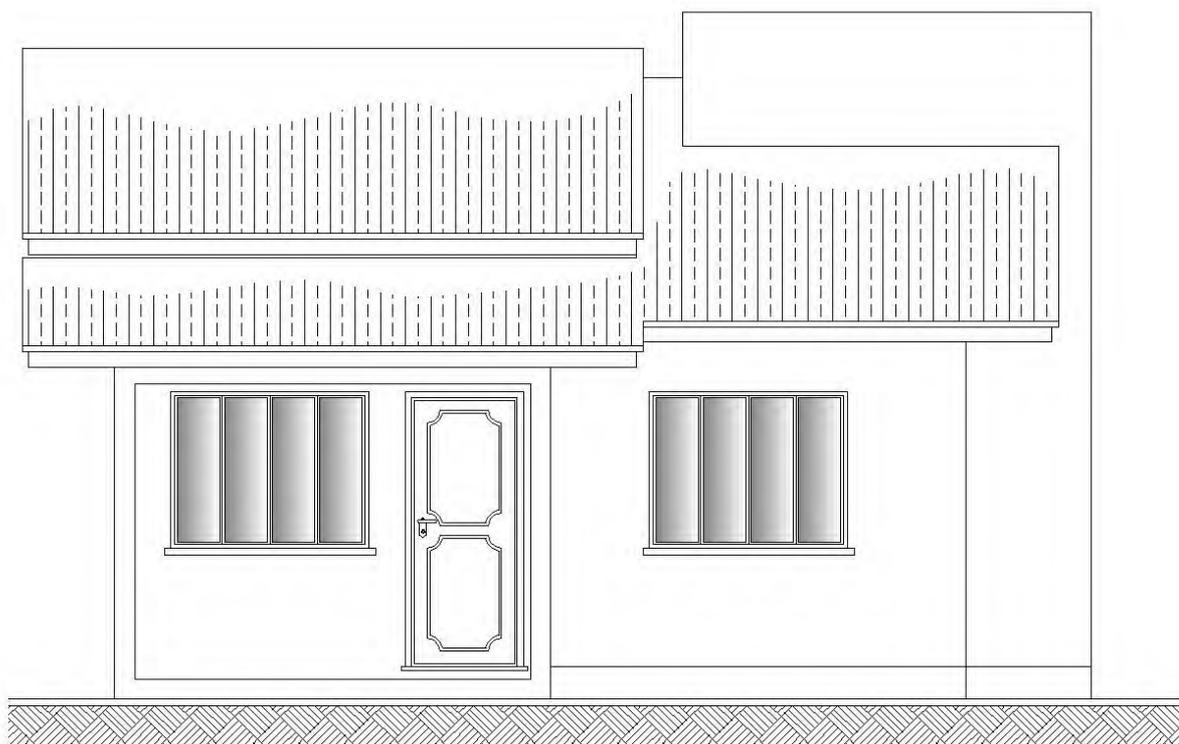


Figura 17 – Elevação: Modelo 1
Fonte: Duo Arquitetura e Engenharia (2014).

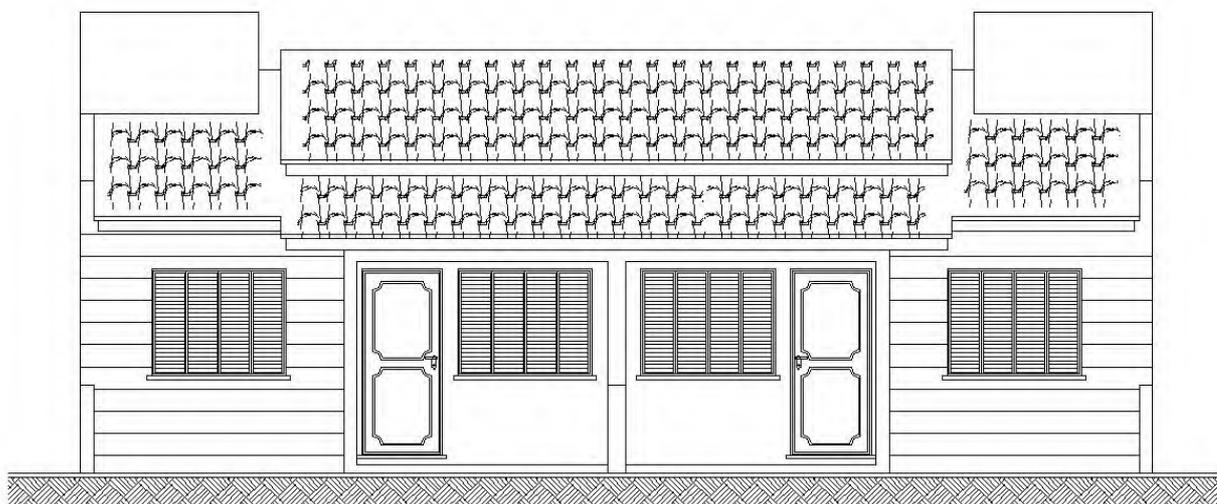


Figura 18 – Elevação: Modelo 2
Fonte: Duo Arquitetura e Engenharia (2014).

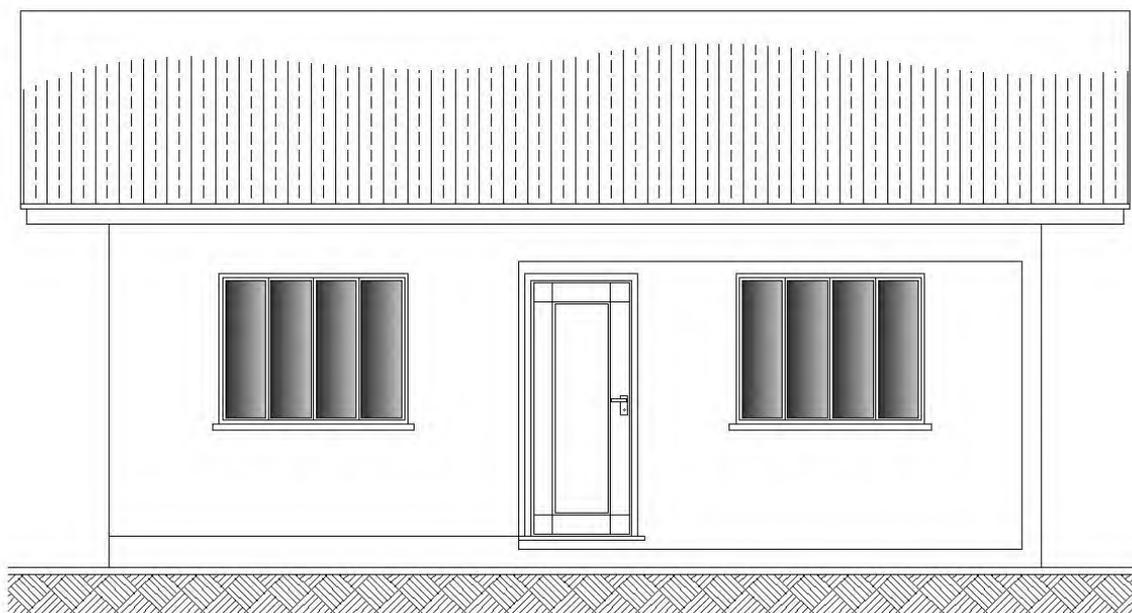


Figura 19 – Elevação: Modelo 3
Fonte: Duo Arquitetura e Engenharia (2014).

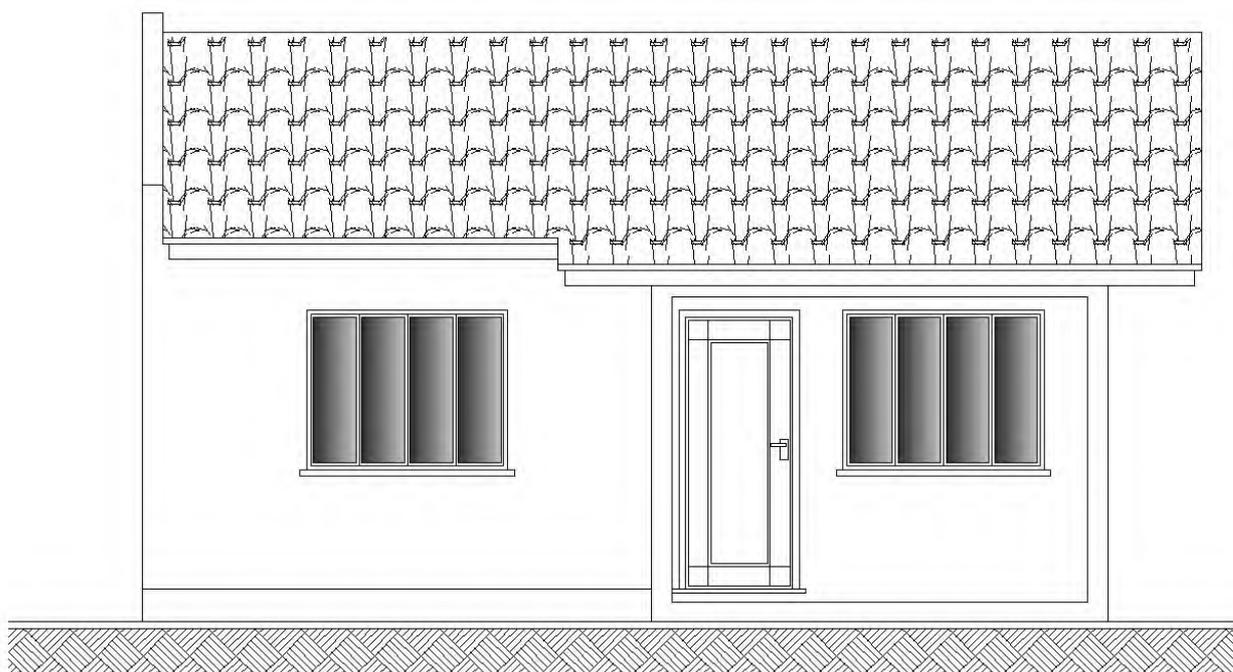


Figura 20 – Elevação: Modelo 4
Fonte: Duo Arquitetura e Engenharia (2014).

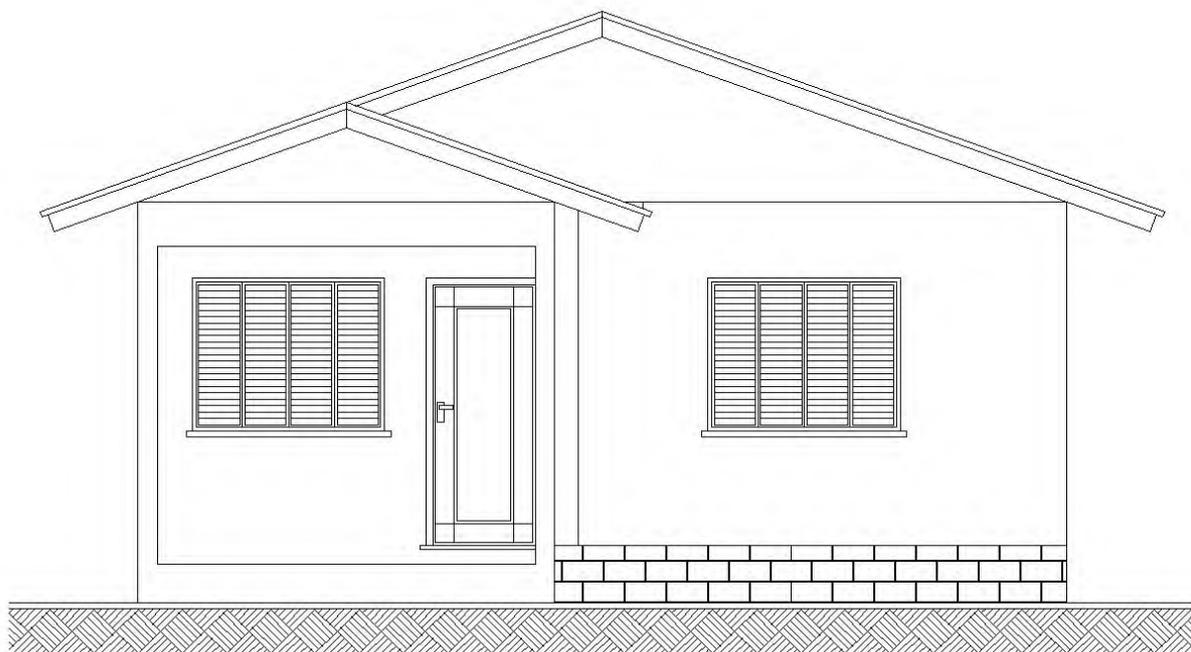


Figura 21 – Elevação: Modelo 5
Fonte: Duo Arquitetura e Engenharia (2014).

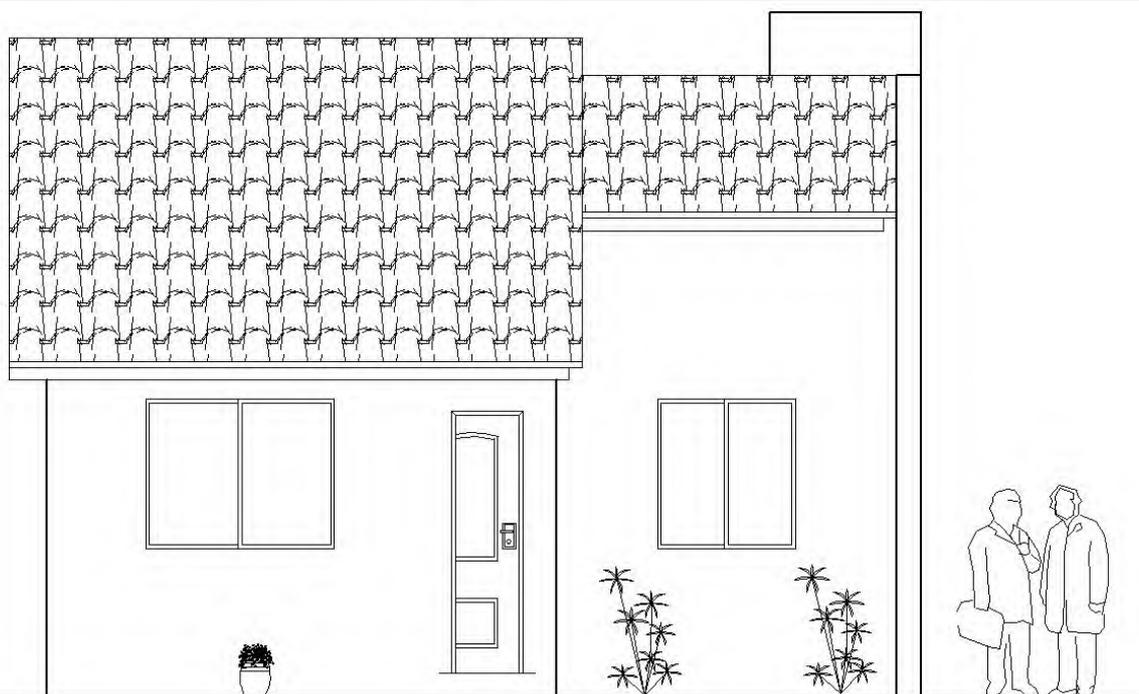


Figura 22 – Elevação: Modelo 6
Fonte: Duo Arquitetura e Engenharia (2014).

Após a seleção das residências, procedeu-se à análise de seu desempenho termo-acústico, seguindo os padrões estabelecidos pela NBR 15.575:2003.

5.1 DESEMPENHO TÉRMICO

O desempenho térmico das edificações selecionadas foi avaliado dentro dos padrões requisitados pela norma brasileira de desempenho, em vigor desde julho de 2013.

Para isto, verificou-se o nível de desempenho da cobertura das edificações e do sistema vertical de vedações internas e externas. Além disto, utilizando-se o *software HEED: Home Energy Efficient Design*, as seis edificações foram avaliadas quanto ao seu desempenho térmico geral, em todas as horas do ano.

Primeiramente, as residências foram classificadas quanto à sua região bioclimática, através dos mapas apresentados na NBR 15575 (ABNT, 2013). Todas as residências, de acordo com a região geográfica na qual se localizam, foram classificadas dentro da Zona 2.

5.1.1 Sistema de Cobertura

Utilizando-se o método citado na NBR 15220 (ABNT, 2005), realizou-se a avaliação do desempenho da cobertura das edificações apresentadas.

Primeiramente, foram levantados os dados referentes ao material de execução da cobertura de cada uma das residências. Os dados utilizados são citados como padrão pela norma citada anteriormente. A Tabela 1 apresenta, para cada um dos modelos residenciais, o material utilizado na cobertura e os referentes dados físicos.

Tabela 1 – Materiais de cobertura dos projetos modelo

Residência	Telhas	Forro
Modelo 1	Fibrocimento	PVC
Modelo 2	Concreto	PVC
Modelo 3	Fibrocimento	PVC
Modelo 4	Cerâmica	PVC
Modelo 5	Fibrocimento	Madeira
Modelo 6	Concreto	PVC

Fonte: Autoria própria (2013).

Já a Tabela 2, abaixo, apresenta os valores de densidade, condutividade térmica e calor específico dos materiais utilizados nas coberturas.

Tabela 2 – Dados dos materiais de cobertura

Material	Densidade (kg/m³)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Calor Específico (kJ/kg.K)
Fibrocimento	1700	0,65	0,85
Concreto	1700	0,65	0,84
PVC	1300	0,2	0,96
Madeira	500	0,15	1,34
Cerâmica	1300	0,9	0,92

Fonte: ABNT NBR 15220 (2005).

Considerou-se, segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005), um fluxo de calor descendente, e procedeu-se ao cálculo das resistências térmicas do conjunto, considerando as camadas de ar próximas ao telhado, e, finalmente, a transmitância térmica do sistema de cobertura.

Os valores encontrados como resultado são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Transmitância térmica dos modelos de cobertura

Residência	Transmitância Térmica (W/m².K)
Modelo 1	2,15
Modelo 2	2,02
Modelo 3	2,15
Modelo 4	2,07
Modelo 5	2,11
Modelo 6	2,05

Fonte: Autoria própria (2013).

5.1.2 Sistema de Vedações Verticais Externas e Internas

Analogamente ao sistema de coberturas, para o sistema de paredes, foram utilizados dados normativos como valores de referência para densidade, condutividade térmica e calor específico. Estes dados são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados dos materiais de vedação

Material	Densidade (kg/m³)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Calor Específico (kJ/kg.K)
Bloco Cerâmico	1900	1,15	1
Argamassa	1500	0,9	0,92

Fonte: ABNT NBR 15220 (2005).

Para o cálculo das propriedades físicas do sistema de vedações, utilizou-se o método disposto na NBR 15220 (ANBT, 2005). Sendo assim, seguindo as dimensões de vedação prescritas em projeto, estabeleceu-se um bloco cerâmico, e dimensões de camadas de reboco, de 50% da dimensão da parede diminuída do bloco para cada lado, e de argamassa de assentamento dos blocos.

A Tabela 5, abaixo, apresenta os dados de bloco cerâmico e espessuras de reboco utilizadas no cálculo das transmitâncias e capacidades térmicas das edificações.

Tabela 5 – Dados das paredes: projeto

Residência	Espessura de Parede	Reboco Interno	Reboco Externo	Bloco Cerâmico
Modelo 1	15cm	1,75cm	1,75cm	11,5x14x24 (6 furos - ½ vez)
Modelo 2	15cm	1,75cm	1,75cm	11,5x19x24 (8 furos - ½ vez)
Modelo 3	15cm	1,75cm	1,75cm	11,5x14x24 (6 furos - ½ vez)
Modelo 4	20cm	3,00cm	3,00cm	11,5x14x24 (6 furos - 1 vez)
Modelo 5	10cm	0,50cm	0,50cm	9x14x19 (6 furos - ½ vez)
Modelo 6	20cm	3,00cm	3,00cm	14x19x24 (9 furos - ½ vez)

Fonte: Autoria própria (2013).

A Tabela 6 mostra as transmitâncias térmicas e capacidades térmicas calculadas para cada modelo de residência.

Tabela 6 – Transmitância e Capacidade térmica: dados de projeto

Residência	Transmitância Térmica (W/m².K)	Capacidade Térmica (kJ/m².K)
Modelo 1	2,40	133,97
Modelo 2	2,35	131,32
Modelo 3	2,40	133,97
Modelo 4	1,95	190,03
Modelo 5	2,95	72,32
Modelo 6	1,82	180,63

Fonte: Autoria própria (2013).

Embora os dados fossem derivados dos projetos analisados, em entrevista com os profissionais responsáveis pela execução das edificações, soube-se que foram utilizados diferentes blocos cerâmicos, além de espessuras de reboco e de camadas de argamassa de assentamento.

Sendo assim, foram também analisados os dados reais das edificações em questão, para efeito de comparação com projeto e de obtenção de dados reais do desempenho das edificações.

A Tabela 7, abaixo, apresenta os dados de bloco cerâmico e espessuras de reboco utilizadas no cálculo das transmitâncias e capacidades térmicas das edificações, referentes ao encontrado na obra.

Tabela 7 - Dados das paredes: obra

Residência	Espessura de Parede	Reboco Interno	Reboco Externo	Bloco Cerâmico
Modelo 1	13cm	2,00cm	2,00cm	9x14x19 (6 furos - ½ vez)
Modelo 2	15,5cm	2,00cm	2,00cm	11,5x14x24 (6 furos - ½ vez)
Modelo 3	12cm	1,50cm	1,50cm	9x19x24 (8 furos - ½ vez)
Modelo 4	14cm	2,50cm	2,50cm	9x19x24 (8 furos - ½ vez)
Modelo 5	13cm	2,00cm	2,00cm	9x14x19 (6 furos - ½ vez)
Modelo 6	16cm	2,00cm	2,50cm	11,5x19x24 (8 furos - ½ vez)

Fonte: Autoria própria (2013).

Os dados encontrados de transmitância e capacidade térmica, calculados do mesmo modo citado anteriormente, estão mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Transmitância e Capacidade térmica: dados da obra

Residência	Transmitância Térmica (W/m ² .K)	Capacidade Térmica (kJ/m ² .K)
Modelo 1	2,67	137,63
Modelo 2	2,38	144,21
Modelo 3	2,55	116,89
Modelo 4	2,41	157,16
Modelo 5	2,67	137,63
Modelo 6	2,30	152,01

Fonte: Autoria própria (2013).

5.1.3 Análise de *Software*

A análise, feita através do *software HEED: Home Energy Efficient Design*, foi realizada individualmente para cada uma das residências modelo. Foram levados em consideração os materiais de construção utilizados, tamanho e posições de janelas e portas, inclinações das coberturas, orientação magnética, dentre outros aspectos requeridos pelo programa.

Os dados climáticos utilizados foram obtidos da base de dados *EnergyPlus*, recomendada pela NBR 15575 (ABNT, 2013). Sendo assim, o clima selecionado foi o da cidade de Curitiba, Paraná. Isto se deve ao fato de a base de dados ainda ser limitada quando se trata de localidades externas aos Estados Unidos da América. Entretanto, o clima utilizado serve de comparação para as residências por ser similar à região na qual elas se localizam, além de ser classificado pela mesma região bioclimática.

O *software*, por ser de origem americana, utiliza os valores de temperatura em Fahrenheit, que são apresentados nas figuras deste trabalho. A conversão da temperatura Fahrenheit para graus Celsius, é feita segundo a Equação 9.

$$^{\circ}F = \frac{^{\circ}C - 32}{1,8} \quad (9)$$

Onde:

$^{\circ}F$ = Temperatura em Fahrenheit;

$^{\circ}C$ = Temperatura em Celsius;

De início, a partir dos dados climáticos, é possível gerar, através do *software*, o gráfico que mostra, para todas as horas do ano, as temperaturas externas às edificações utilizadas. Este dado é mostrado na Figura 23.

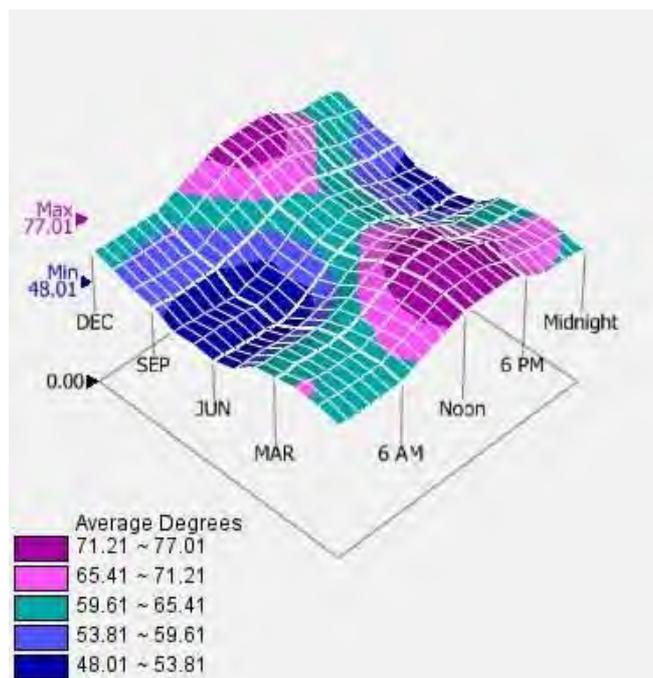


Figura 23 – Temperatura externa
Fonte: Aatoria própria (2013).

Após a verificação da temperatura externa, para cada residência, foram gerados os gráficos de temperatura interna, e de sensação térmica interna à residência, que leva em consideração o fluxo de vento com as janelas abertas e a orientação magnética da edificação, para cada hora dos 365 dias do ano.

Estes dados são mostrados nas Figuras 24 a 29, também com seus valores em Fahrenheit.

Além disto, no Apêndice A, são mostradas as tabelas referentes às temperaturas internas e externas referentes à cada hora do ano, para cada um dos modelos de residência analisados.

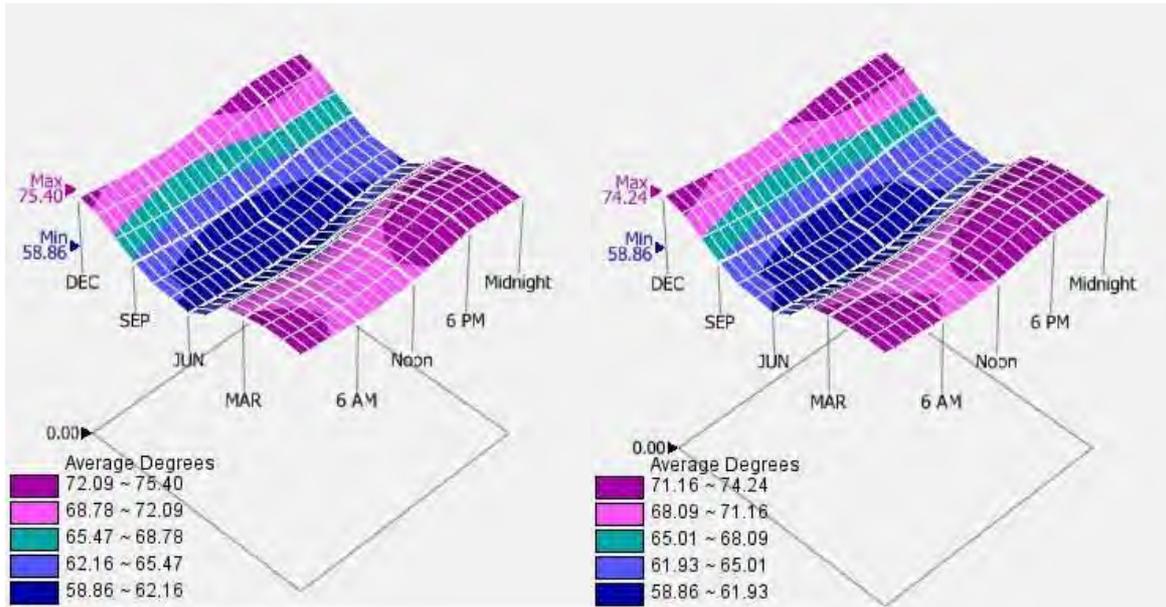


Figura 24 – Temperatura interna (esquerda) e sensação térmica (direita) – Modelo 1
Fonte: Autoria própria (2013).

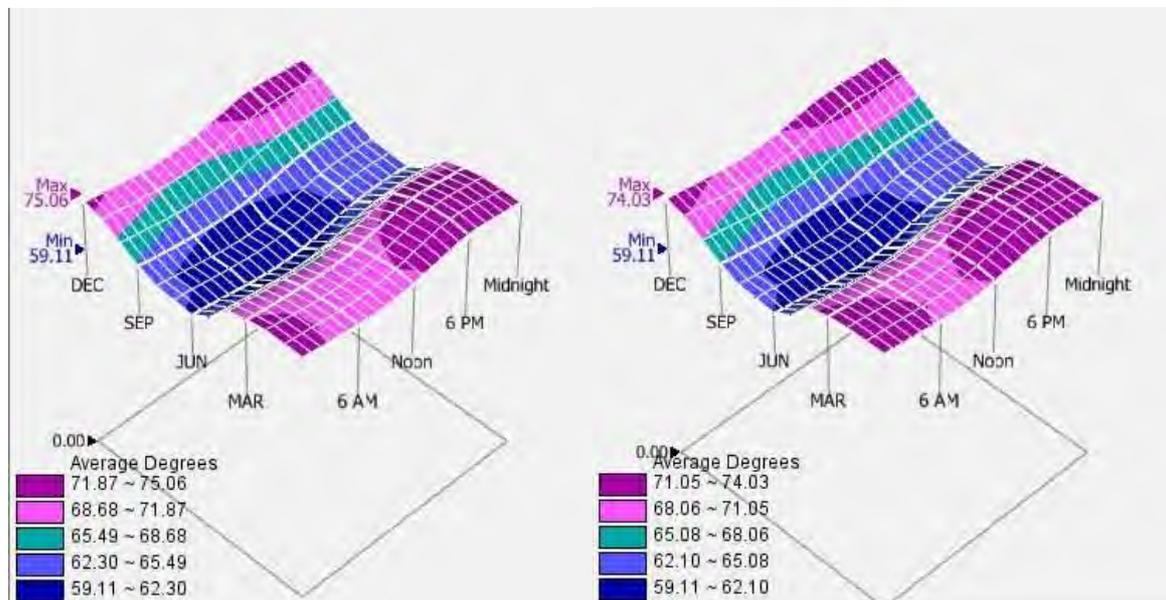


Figura 25 – Temperatura interna (esquerda) e sensação térmica (direita) – Modelo 2
Fonte: Autoria própria (2013).

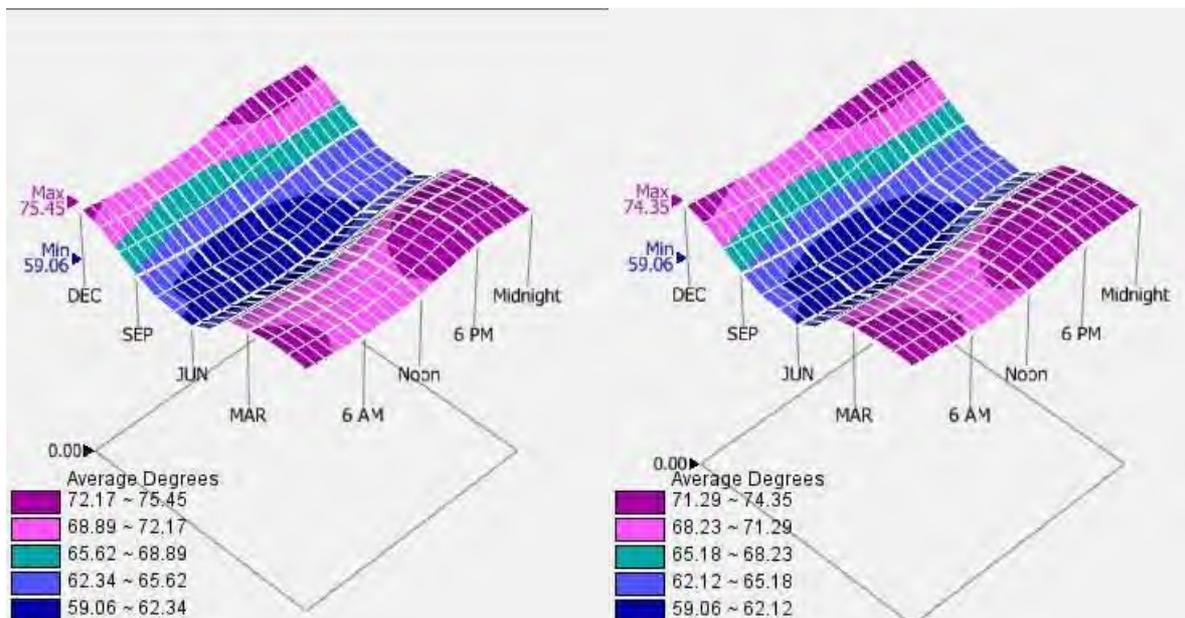


Figura 26 – Temperatura interna (esquerda) e sensação térmica (direita) – Modelo 3
 Fonte: Autoria própria (2013).

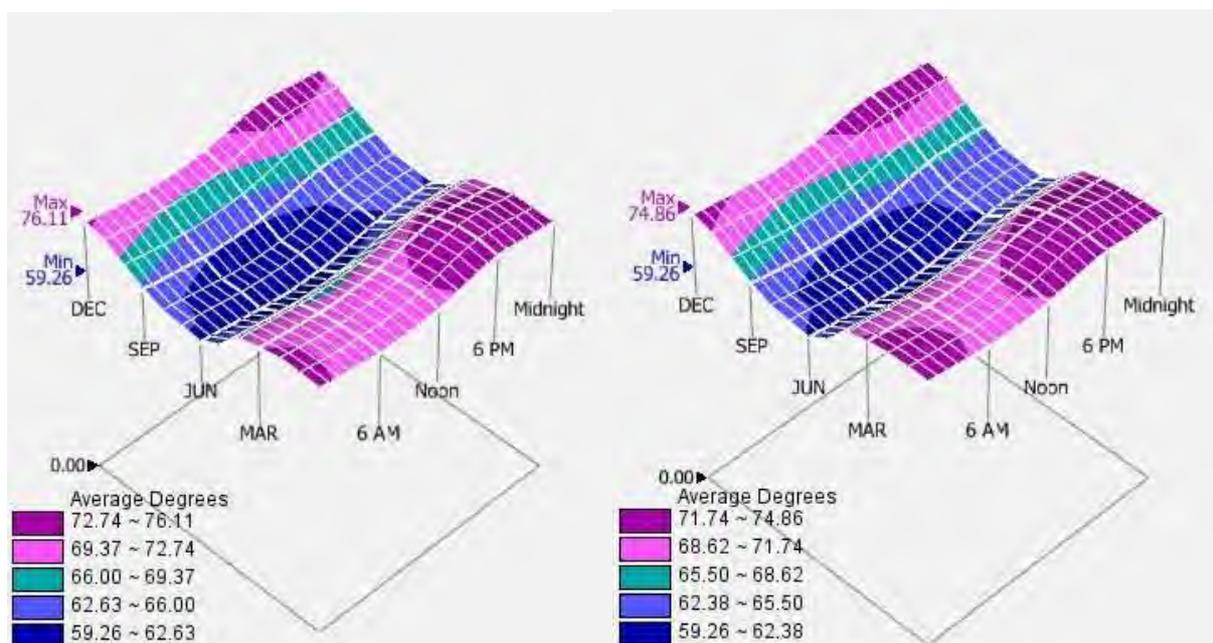


Figura 27 – Temperatura interna (esquerda) e sensação térmica (direita) – Modelo 4
 Fonte: Autoria própria (2013).

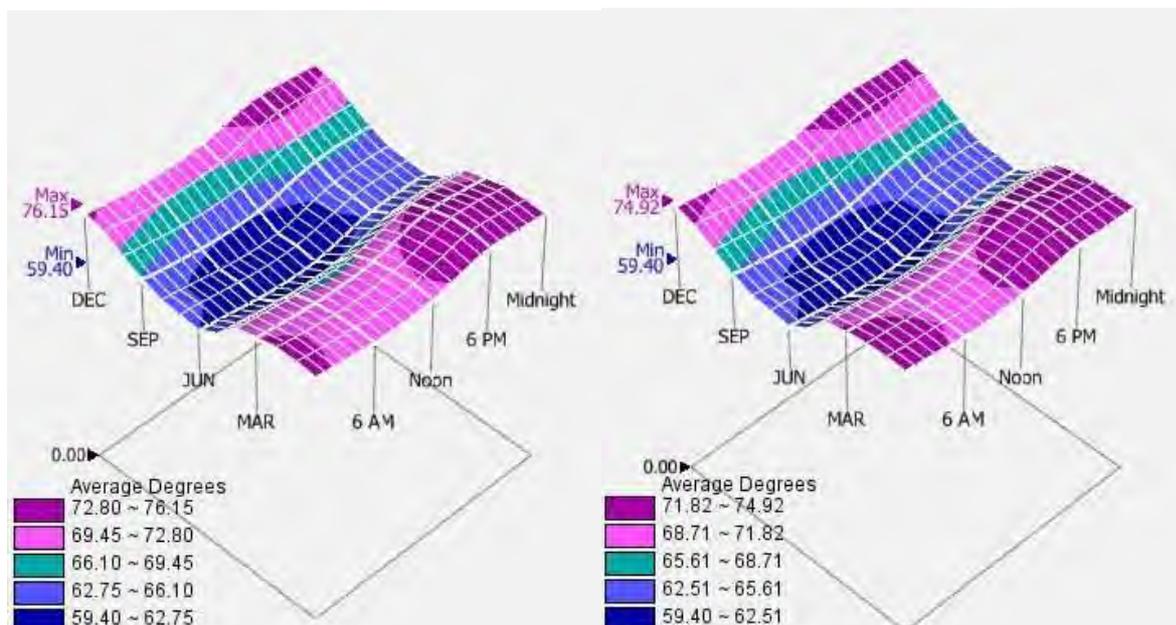


Figura 28 – Temperatura interna (esquerda) e sensação térmica (direita) – Modelo 5
Fonte: Autoria própria (2013).

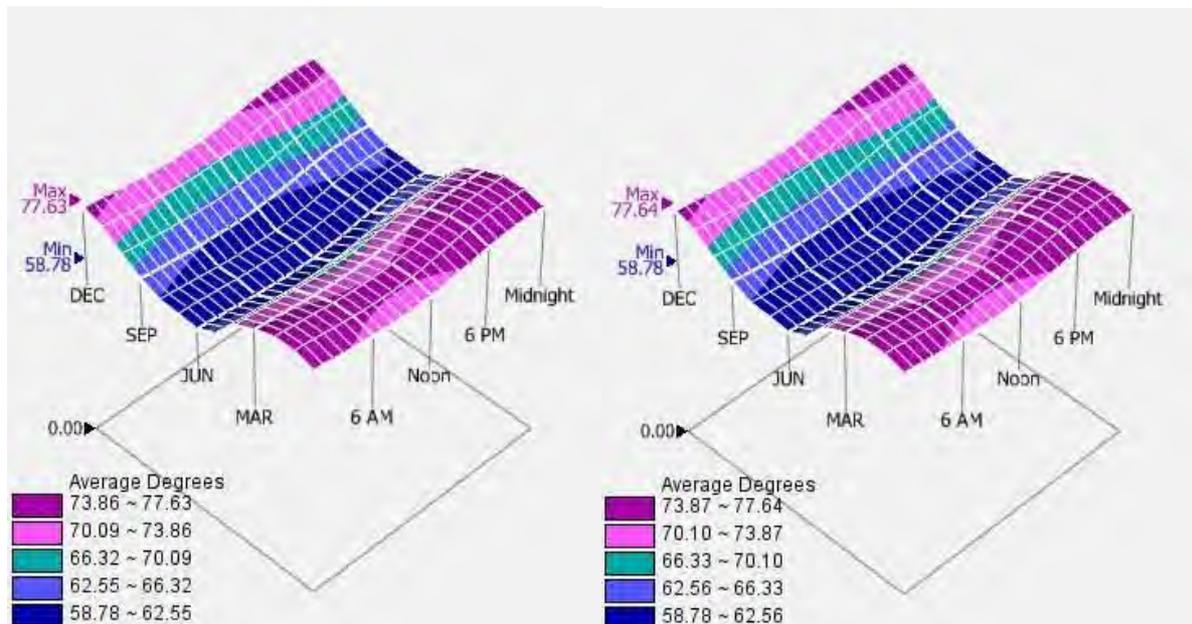


Figura 29 – Temperatura interna (esquerda) e sensação térmica (direita) – Modelo 6
Fonte: Autoria própria (2013).

5.2 DESEMPENHO ACÚSTICO

O desempenho acústico das edificações modelo foi aferido segundo os métodos apresentados pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Como as edificações em estudo eram térreas, não havia necessidade, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), de verificar o desempenho acústico da cobertura da edificação.

Além disto, outro fator limitante é o método de cálculo em projeto, que não é preciso e permite apenas o cálculo de alguns aspectos da edificação.

Sendo assim, o único sistema analisado nas edificações foi o de vedações verticais.

5.2.1 Sistema de Vedações Verticais Externas e Internas

Como não se dispunha de equipamentos necessários para a análise de campo, o único meio de verificação foi o de projeto.

Para isto, entretanto, foram utilizados dados citados por CBIC (2013) para os índices de redução sonora ponderado de janelas, portas e paredes de alvenaria em geral.

Sendo assim, a Tabela 9, abaixo, mostra os valores utilizados deste índice nos cálculos de desempenho acústico dos modelos analisados.

Tabela 9 – Índice de redução sonora ponderado utilizados para cálculos

Item	Rw (dB)
Alvenaria de bloco cerâmico (e: 9cm) com reboco	38
Alvenaria de bloco cerâmico (e: 11,5cm) com reboco	40
Porta de madeira de núcleo oco	18
Janela de correr com 2 folhas de vidro	19
Janela de vidro tipo maxim-ar	27

Fonte: CBIC (2013).

Com estes dados, e o sistema de cálculo proposto pela NBR 15575 (ABNT, 2013), exposto anteriormente, procedeu-se ao cálculo do índice de redução sonora ponderado de todas as elevações externas de cada uma das edificações, bem como o índice geral da residência.

Para isto, em cada uma das elevações, foi calculada a área de alvenaria, de portas, e de cada tipo de janela presente. Além disto, foi levado em consideração o bloco cerâmico utilizado na construção da edificação.

A Tabela 10 mostra os valores de índice de redução sonora ponderado para cada uma das elevações de cada residência, além do índice geral da edificação.

Tabela 10 - Índice de redução sonora ponderado das residências (db)

Residência	Elevação				Total
	Frontal	Esquerda	Direita	Traseira	
Modelo 1	24,3	27,7	31,1	31,5	28,9
Modelo 2	23,9	40,0	40,0	24,0	33,0
Modelo 3	25,0	37,3	30,5	24,8	29,5
Modelo 4	24,6	38,0	27,1	28,8	29,5
Modelo 5	24,4	38,0	37,2	27,8	31,7
Modelo 6	26,0	29,9	40,0	27,5	30,5

Fonte: Autoria própria (2013).

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através da análise das edificações deste trabalho, é possível verificar todos os aspectos positivos e negativos que as residências da região sudoeste do estado do Paraná apresentam quanto ao seu conforto térmico e acústico. Estes aspectos, entretanto, variam com as características construtivas das residências, que são mostradas na Tabela 11.

Tabela 11 – Características das residências analisadas

Residência	Espessura de Parede	Reboco Interno	Reboco Externo	Bloco Cerâmico	Telhas	Forro
Modelo 1	13cm	2,00cm	2,00cm	9x14x19 (6 furos - ½ vez)	Fibrocimento	PVC
Modelo 2	15,5cm	2,00cm	2,00cm	11,5x14x24 (6 furos - ½ vez)	Concreto	PVC
Modelo 3	12cm	1,50cm	1,50cm	9x19x24 (8 furos - ½ vez)	Fibrocimento	PVC
Modelo 4	14cm	2,50cm	2,50cm	9x19x24 (8 furos - ½ vez)	Cerâmica	PVC
Modelo 5	13cm	2,00cm	2,00cm	9x14x19 (6 furos - ½ vez)	Fibrocimento	Madeira
Modelo 6	16cm	2,00cm	2,5cm	11,5x19x24 (8 furos - ½ vez)	Concreto	PVC

Fonte: Autoria própria (2013).

No que se refere ao desempenho térmico, os únicos dois aspectos das residências que foram analisados foram a cobertura e as paredes. Isto se deve ao modelo das edificações, pertencentes ao programa federal Minha Casa Minha Vida, que limita tais construções ao nível térreo.

Observou-se que, quando se trata da cobertura das edificações, os modelos construtivos utilizados na região respeitam o exigido como padrão mínimo pela NBR 15575 (ABNT, 2013), ou seja, sua transmitância térmica é menor que 2,3 W/m².K. Entretanto, segundo a mesma norma, nenhuma residência alcançou o nível requerido para classificar-se no padrão intermediário, como é mostrado no Quadro 8 deste trabalho.

Outro ponto de importância é a combinação de materiais de construção utilizados no sistema de cobertura. Quanto às telhas, o fibrocimento e o concreto possuem um desempenho semelhante, devido à similaridade do material, já a telha cerâmica tem como característica uma maior condutividade térmica, o que aumenta o valor da transmitância térmica e, conseqüentemente, reduz seu nível de desempenho. Já no que

se refere aos forros, a madeira possui um comportamento levemente melhor que o PVC, embora isto não leve à uma grande diferença no desempenho final.

Os sistemas de vedações das residências, por sua vez, não foi tão aceitável quanto o sistema de coberturas. Quando analisa-se o que é previsto em projeto, percebe-se que apenas uma residência não obedece ao padrão mínimo da norma. É o Modelo 5, que apresenta uma transmitância térmica de $2,95 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, quando o máximo é de $2,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, e uma capacidade térmica de $72,32 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$, quando o mínimo é de $130 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$.

Isto ocorreu devido à espessura prevista para as paredes de vedação, de apenas 10 cm. Sendo assim, utilizando-se um bloco cerâmico de 9 cm de espessura, resta apenas 1 cm para as camadas de chapisco, emboço e reboco externas e internas, o que é impraticável, e, como mostram os resultados, não apresenta um desempenho aceitável.

Entretanto, quando foram analisados os modelos segundo o que foi executado, os resultados foram diversificados. Neste, apenas metade das residências analisadas atenderam à norma.

Dos que apresentam o desempenho térmico mínimo, dois foram executados com blocos cerâmicos de 11,5 cm de espessura, o que resultou na camada final da alvenaria de 15,5 cm e 16 cm, para cada um deles. O outro modelo, que utiliza um bloco de 9 cm de espessura, caracterizava-se por uma parede de 14 cm de espessura, ou seja, cerca de 2,5 cm de camadas complementares de cada lado da alvenaria.

Este último, denominado Modelo 4, diferenciava-se do Modelo 3, que utiliza o mesmo bloco cerâmico, justamente pela espessura da camada de chapisco, emboço e reboco. O Modelo 3, com apenas 12 cm, apresentou uma transmitância térmica de $2,55 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e uma capacidade térmica de $116,89 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$, ambos os valores inferiores ante aos requisitos mínimos exigidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Observando-se os valores registrados das residências executadas, percebe-se também que há certa facilidade em se alcançar o nível mínimo de capacidade térmica das alvenarias, o que não acontece com a transmitância térmica. Isto se deve ao material de construção utilizado, blocos cerâmicos de argila e argamassa de cimento, tanto para assentamento quanto para revestimento e acabamento.

Estes materiais possuem um alto calor específico, bem como uma elevada densidade, o que aumenta o valor final da capacidade térmica, melhorando portanto o conforto proporcionado. Entretanto, quando se analisa a condutividade térmica, ambos os materiais apresentam valores elevados, o que também aumenta o valor da transmitância térmica, diminuindo assim o desempenho térmico do composto. Por efeito de comparação, seria necessário aproximadamente 25 cm de argamassa para obter o mesmo desempenho térmico de 1 cm de lã de rocha.

Através da análise matemática, provou-se, portanto, que 50% dos modelos de residências necessitariam, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), uma análise computacional, ou então mudanças no projeto, já que não atingiram o nível mínimo de desempenho térmico.

Sendo assim, com o auxílio do *software HEED: Home Energy Efficient Design*, todos os modelos foram analisados, para verificar os resultados e até mesmo compará-los com os encontrados nos cálculos.

A análise se deu levando em consideração os aspectos construtivos das residências, que completaram os dados requisitados no programa. Quando comparam-se os dados da Figura 23 com os dados das Figuras 24 a 29, percebe-se que há picos de valores nos modelos. Entretanto, as residências seguem um padrão no que se refere ao comportamento térmico.

Mais precisamente, pode-se analisar as tabelas e figuras presentes no Apêndice A deste trabalho. Os gráficos apresentados seguem dois padrões: os que comparam a temperatura interna da residência com a temperatura característica normativa da cidade, e os que a comparam com a temperatura efetiva do local da cidade, gerada pelo *software* utilizado, e proveniente do banco de dados *EnergyPlus*.

Na primeira delas, como se pode observar, nenhuma das residências atinge sequer o nível intermediário de desempenho no verão, mantendo apenas o nível mínimo em determinadas horas de cada mês. Isto se deve à temperatura característica de verão da cidade de Curitiba, que é de 21,3 °C. Já no inverno, todas as residências atingem ao menos o nível mínimo normativo.

Este fenômeno ocorre principalmente à capacidade térmica das paredes das residências, que pelo fato de ser alta, consegue armazenar calor proveniente da radiação

solar durante o dia, e tem dificuldade de liberar o calor interno da residência durante a noite, mantendo a casa em uma temperatura relativamente quente quando comparada ao meio externo.

No segundo tipo de gráfico, que compara a temperatura interna das residências com a temperatura do ambiente, percebe-se outro padrão de comportamento dos gráficos. Nestes, com melhor efeito comparativo, pode-se perceber um grande desconforto noturno no interior das residências durante o verão, que é causado pelo mesmo fenômeno citado anteriormente.

Já durante o inverno, pode-se observar um desconforto durante o dia, no interior das residências, que se deve ao fato de, segundo a cidade utilizada pelo programa, não haver radiação solar suficiente para aquecer o sistema de vedações e de cobertura, fazendo com que a edificação perca o pouco calor obtido durante o dia no período noturno.

Dos dois modelos citados, pode-se obter, para cada um, a porcentagem na qual estas residências se enquadram em cada nível de desempenho especificado pela norma. Estes valores são mostrados na Tabela 12.

Tabela 12 – Desempenho das residências classificados por nível

RESIDÊNCIA	DESEMPENHO TÉRMICO							
	Temperatura Característica				Temperatura Ambiente			
	S	I	M	-	S	I	M	-
Modelo 1	17%	30%	13%	40%	4%	25%	18%	53%
Modelo 2	20%	28%	13%	39%	4%	25%	18%	53%
Modelo 3	18%	30%	12%	40%	4%	24%	19%	53%
Modelo 4	20%	28%	10%	42%	5%	23%	18%	54%
Modelo 5	25%	24%	9%	42%	7%	22%	17%	54%
Modelo 6	17%	29%	10%	44%	4%	22%	19%	55%
S	Desempenho Superior			M	Desempenho Mínimo			
I	Desempenho Intermediário			-	Não atende à norma			

Fonte: Autoria própria (2013).

Como pode-se observar, a residência com melhor desempenho térmico é o Modelo 5. Este fato contradiz o valor calculado segundo o especificado em norma. A razão para isto é o projeto arquitetônico, que possui janelas na direção leste e oeste, predominantes nos ventos presentes em Curitiba, como mostra a Figura 30. Além disto,

as paredes norte e sul não possuem aberturas, o que melhora a condição térmica do interior da residência.

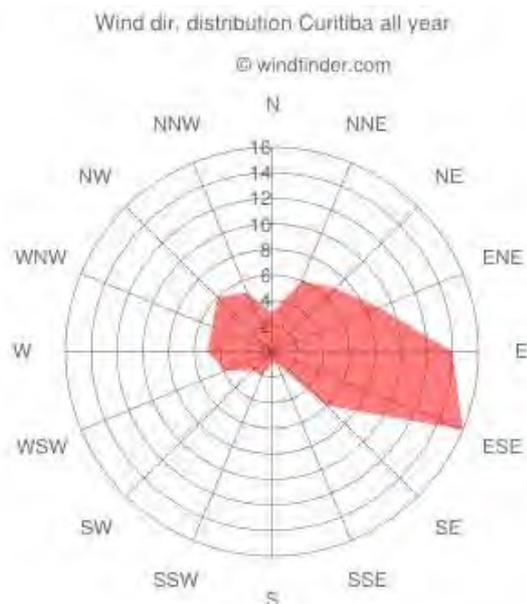


Figura 30 – Direção dos ventos predominantes em Curitiba
Fonte: Windfinder (2013).

Apesar disto, analisando os resultados anteriores, verifica-se que, quando comparada à temperatura ambiente, todas as residências analisadas estão em mais de 50% do tempo em uma condição de desconforto térmico, o que representa a fragilidade do sistema construtivo regional.

No que se refere ao desempenho acústico das residências, o único aspecto construtivo analisado foi o das vedações verticais. Isto ocorre, assim como na questão térmica, devido ao projeto térreo das residências, que não permite ruídos de impacto na cobertura.

Os modelos residenciais analisados foram classificados através no Quadro 13 deste trabalho, que dispõe três diferentes classes de ruído para edificações de acordo com o nível de ruído nas proximidades. Deste modo, levando em consideração a região geográfica das residências, e a condição de ruído das cidades do sudoeste do Paraná, todos os modelos analisados foram enquadrados na classe II.

Sendo assim, analisando-se o aspecto global das edificações, que levam em conta a média criteriosa dos índices de redução sonora ponderado das fachadas das edificações, observa-se que apenas os modelos 2, 5 e 6 atingem o nível mínimo

normativo para desempenho acústico, de 30dB. Nenhuma das residências atingiu o nível intermediário.

Entretanto, quando leva-se em consideração que todo o ruído absorvido pelo sistema de vedações é classificado como aéreo, se torna interessante a análise da fachada frontal da residência, que recebe a maior parte das ondas sonoras provenientes do meio externo.

Nesta análise, de acordo com os cálculos deste trabalho, nenhuma das residências atinge o nível mínimo exigido pela NBR 15575 (ABNT, 2013). Isto se deve principalmente pelo sistema construtivo, de alvenaria. Este sistema, sem nenhum tratamento acústico, não proporciona grande resistência às ondas sonoras.

Deve-se, contudo, analisar melhor os materiais regionais de construção, como blocos cerâmicos, argamassas e até mesmo portas, janelas e materiais de acabamento, para que o resultado final dos cálculos possa ser mais preciso e fiel à realidade.

Este fato, porém, não ocorre apenas no comportamento acústico das residências. É importante também que se tenham valores precisos de densidade de materiais, calor específico, resistências e condutividades térmicas, dados essenciais para o cálculo de transmitância e capacidade térmica.

É de relevância, portanto, a utilização de um estabelecimento de confiança e de renome regional por parte das empresas fornecedoras de materiais de construção, que possa ceder à projetistas e consumidores os valores precisos de seus produtos, que definirão o conforto da edificação.

Sendo assim, é de grande contribuição regional a adaptação técnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná quanto aos seus laboratórios, para que se habilite a prestação deste serviço.

No que se refere ao desempenho térmico, a NBR 15575 (ABNT, 2013) faz referência à vários padrões normativos nacionais e internacionais necessários para a obtenção das propriedades dos materiais, como mostra o Quadro 18.

Propriedade	Determinação
Condutividade térmica	ASTM C 518 ou ASTM C 177 ou ISO 8302
Calor Específico	ASTM C 351 – 92b
Densidade	Medição conforme método de ensaio específico para cada material
Emissividade	JIS A 1423 ou ASTM C1371 - 04a
Absortância à radiação solar	ANSI/ASHRAE 74/88 ou ASTM E1918-06 ou ASTM E903-96
Resistência ou transmitância térmica de elementos	ABNT NBR 15220 ou ASTM E903-96
Característica fotoenergética	EN 410 – 1998 ou EN 12898

Quadro 18 – Referências normativas de desempenho térmico

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

Como a região geográfica em que se enquadram as residências se enquadra na zona bioclimática II, não há necessidade de análise de emissividade de materiais. Além disto, o estabelecimento citado já possui renome regional na análise de densidade de materiais de construção. Sendo assim, para a análise de projetos, seria necessário apenas a adaptação para obtenção de valores de calor específico e condutividade térmica de materiais.

Para a determinação da condutividade térmica, pode-se utilizar um Medidor de Fluxo de Calor simples, para materiais isolantes, através do método de placas. Um exemplo de aparelho é mostrado na Figura 31.



Figura 31 – Medidor de Fluxo de Calor
Fonte: NETZSCH (2014).

Este produto é relativamente pequeno, com cerca de 40 cm de largura, 40 cm de altura e 60 cm de comprimento.

Já no que se refere ao calor específico de materiais, pode-se utilizar um simples calorímetro, mostrado na Figura 32, e que dispõe das mesmas características geométricas do medidor de fluxo de calor, citadas anteriormente.



Figura 32 – Calorímetro
Fonte: LABCONTROL (2014).

Há também a possibilidade de criação de um laboratório para análise de modelos e maquetes de residências, que simulam a avaliação térmica global da edificação. Entretanto, esta possibilidade acaba se tornando inviável devido ao espaço físico necessário, e à posição da norma, que declara que este método não substitui o método de avaliação de cálculo, ou o computacional.

No que se refere ao desempenho acústico das edificação, pode-se separar os requisitos da norma quanto ao tipo de ensaio realizado, explanado anteriormente neste trabalho.

O método simplificado de campo, não ideal segundo a norma, porém mais preciso quando há muito ruído de fundo, como é o caso das residências em zonas urbanas, segue os padrões descritos na ISO 10052.

Já o segundo método de campo, denominado na NBR 15575 (ABNT, 2013) de método de engenharia, utiliza a norma ISO 140.

O sistema de pisos, no método da engenharia, utiliza a ISO 140-4 para a avaliação dos ruídos aéreos, e a ISO 140-7 para os ruídos provenientes de impacto. Já o sistema de vedações verticais utiliza a ISO 140-5 para as fachadas e a ISO 140-4 para as paredes internas. Por último, o sistema de coberturas também subdivide-se entre a norma ISO 140-5 para o sistema de proteção contra ruídos aéreos e a ISO 140-7 para o ruído proveniente de impactos.

O terceiro método de avaliação, utiliza as normas ISO 10140-2 e ISO 717-1 para a determinação do índice de redução sonora ponderado, que avalia o desempenho acústico de materiais de construção em laboratório.

Os dois primeiros métodos, realizados em campo, necessitam de aparelhos específicos para seus testes. Estes aparelhos, mostrados a seguir, dividem-se entre a fonte produtora do ruído.

Quando o ruído a ser testado é proveniente do meio aéreo, utiliza-se uma fonte de ruído omnidirecional, mostrada na Figura 33, que gera um ruído de um dos lados da parede ou laje de cobertura, e que será medido do lado oposto.



Figura 33 – Fonte omnidirecional de ruído
Fonte: AcoemGroup (2014).

Já quando se trata de ruído de impacto, o equipamento utilizado é uma *tapping machine*, como mostrado na Figura 34. Este aparelho, composto de 5 martelos, produz ruídos em todas as bandas de frequência necessárias ao teste de impacto requisitado pelos documentos normativos.



Figura 34 – Tapping machine
Fonte: AcoemGroup (2014).

Para que possa ser feita a verificação, entretanto, é necessário outro equipamento. Este, chamado de sonômetro, é responsável não pela geração, mas sim pela captação do ruído proveniente das máquinas anteriores. Sua aparência é mostrada na Figura 35.



Figura 35 – Sonômetro
Fonte: AcoemGroup (2014).

Observa-se, portanto, que os equipamentos necessários para a realização dos testes em campo do desempenho acústico são comercialmente viáveis de serem utilizados, e têm sua geometria reduzida, não sendo portanto requerido um grande espaço para sua acomodação.

No que se refere à obtenção do índice de redução sonora ponderado, feita em laboratório, o equipamento utilizado é a fonte omnidirecional de som, juntamente com o sonômetro, ambos mostrados anteriormente.

Entretanto, para a obtenção destes dados, torna-se necessária a criação de um espaço específico, denominado câmara reverberante, é composta de dois ambientes diferentes: um para a emissão do ruído, e outra para a recepção do mesmo.

Esta câmara, para atender ao mercado regional, deverá ter dimensões compatíveis com os produtos a serem testados. Sendo assim, necessitar-se-ia de um grande espaço físico e de uma maior quantia financeira para a construção desta câmara.

Para fins acadêmicos, entretanto, é possível construir um modelo reduzido, que possibilita a execução de testes de materiais limitados.

Conclui-se, portanto, que é mais viável a adaptação do laboratório da UTFPR para a análise de desempenho térmico de materiais de edificação, quando comparado com o desempenho acústico. Isto possibilita a criação de serviços para terceiros, bem como a criação de uma nova área de estudos para variados cursos oferecidos pela universidade.

Além disto, seria necessário por parte da UTFPR a contratação de um profissional laboratorista, com treinamento necessário para operar os equipamentos e realizar as devidas medições e cálculos. Junto à este, torna-se possível a abertura de novas vagas para iniciações científicas e estágios.

Quando ao espaço físico necessário, os equipamentos podem facilmente ser adaptados aos laboratórios já existentes na edificação.

No que se trata dos equipamentos acústicos, é possível obter os equipamentos e realizar ensaios nas obras da região sudoeste do estado do Paraná. Entretanto, os ensaios laboratoriais são limitados devido aos fatores citados anteriormente.

Finalmente, observa-se nos resultados deste trabalho que os aspectos térmico e acústico das edificações regionais apresentam vários problemas, que podem ser facilmente resolvidos ainda na fase de projetos da edificação.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo dos anos, pouco se falou, no Brasil, sobre desempenho e conforto térmico e acústico nas edificações. Porém, seguindo o padrão estabelecido internacionalmente, o mercado nacional procura atender estas novas exigências.

Como todos os outros aspectos da construção civil, a questão termo-acústica segue normas e critérios especificados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. Sendo assim, foram levantadas as normas referentes à cada um dos requisitos citados, bem como a conexão destas com a NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Percebeu-se então que a NBR 15.575 (ABNT, 2013) define os requisitos térmicos e acústicos mínimos aceitáveis para qualquer tipo de edificação construída, e para que se alcancem estes requisitos, esta norma utiliza ensaios e métodos de cálculo regidos por outras normas, nacionais e internacionais, citadas por ela.

O próximo passo foi caracterizar os índices que influenciam no desempenho termo-acústico de materiais, para obter um melhor entendimento do comportamento global das edificações. Para isto, as questões físicas foram analisadas e inseridas no universo dos materiais de construção.

Tendo em mente os requisitos necessários, e o conhecimento do comportamento dos materiais, analisou-se os projetos residenciais do programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal, segundo os aspectos termo-acústicos, conceituando estas edificações pelos critérios apresentados pela NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Observou-se nos resultados encontrados que as residências analisadas apresentaram vários problemas, que podem ser facilmente resolvidos ainda na fase de projetos da edificação.

Para que isto ocorra, entretanto deve haver uma mudança nos hábitos de projetistas e até mesmo da população, para que passem a exigir características de desempenho em suas residências.

Além disto, é necessário que se faça a análise termo-acústica dos projetos, o que requer profissionais habilitados e dados confiáveis dos materiais de construção disponíveis na região.

Neste ponto é crucial o auxílio de uma instituição de renome, como a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, para realizar os ensaios referentes aos critérios térmicos e acústicos de edificações. Para tanto, algumas alterações e adequações se fazem necessárias ao *câmpus* Pato Branco da UTFPR, tanto em termos de profissionais quando de equipamentos, todos previamente elencados neste trabalho.

Sendo assim, torna-se importante e válida esta análise, bem como a adaptação por parte da Universidade Tecnológica Federal do Paraná à prestação dos serviços citados.

Conclui-se, portanto, que muito ainda há de ser feito para que as edificações do sudoeste do estado do Paraná possam ser consideradas termo e acusticamente confortáveis. Entretanto, esta mudança depende da população, dos trabalhadores envolvidos do início ao fim do ciclo de uma construção, e dos órgãos capazes de contribuir neste aspecto.

O primeiro passo foi dado no ano de 2013, com a reformulação da NBR 15.575 (ABNT, 2013), que define padrões de desempenho para todos os tipos de edificações. É necessário, agora, que seja exigido seu cumprimento por órgãos fiscalizadores, e que os resultados possam ser claros e satisfatórios aos usuários, proporcionando, portanto, o resultado desejado à todas as partes envolvidas neste processo.

REFERÊNCIAS

ACOEM GROUP. **Vibration and noise analysis and diagnosis**. Limonest - FR, 2014. Disponível em <<http://www.acoemgroup.com.br/catalogo/Fontes-de-rudo-1-0-281-produtos>>. Acesso em: 07jan. 2014.

AKUTSU, Maria; SATO, Neide M. N; PEDROSO, Nelson G. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares**: Manual de procedimentos para avaliação. São Paulo: IPT, 1987.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ASHRAE Standard 55**. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, abr. 2004.

ARCOWEB. Vidros refletivos para o controle da luz e do calor. ARCO, São Paulo, set. 2004. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/vidros-refletivos-para-o-28-09-2004.html>>. Acesso em: 08 ago. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**. Agregado em estado solto: Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, abr. 1982.

_____. **NBR 10152**. Níveis de Ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, dez. 1987.

_____. **NBR 15220**. Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220**. Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220**. Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**. Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575**. Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 3: Requisitos para os Sistemas de Pisos. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575**. Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575**. Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575**. Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 6: Sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2013.

BAUER, Luiz A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. revisada. Revisão técnica: João Fernando Dias. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BRUSAMARELLO, Valner. **Termômetros de Radiação**. Disponível em <http://www.chasqueweb.ufrgs.br/~valner.brusamarello/inst/aula_07.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2013.

BUDYKO, M. The Effect of Solar Radiation Variations on the Climate of the Earth. **Tellus**, São Petersburgo, v. 7, n.5, dez. 1968. Disponível em <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2153-3490.1969.tb00466.x/pdf>>. Acesso em: 06ago. 2013.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de Edificações Habitacionais: Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 299p.

CHING, Francis D. K. **Building Construction Illustrated**. 4 ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2008.

COSTA, Ennio C. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: Edgard Blucher, 1982.

COSTA, Pedro B. Pela Melhoria da Qualidade da Habitação. **Desempenho de Edificações Habitacionais: Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza, 2013. Gadioli Cipolla Comunicação, p. 8.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ECOSILENZIO. Disponível em <http://www.ecosilenziocom.br/nbr15575/nbr15575_3>. Acesso em: 20 ago. 2013.

ENCYCLOPÉDIA BRITÂNICA. **Atmospheric humidity and precipitation**. Chicago, 2013. Disponível em <<http://global.britannica.com/EBchecked/topic/121560/climate/53256/Atmospheric-humidity-and-precipitation>>. Acesso em: 04 ago. 2013.

FANTIN, Ivanor J. É hora de se adaptar. **Diário do Sudoeste**, Pato Branco, 13 jul. 2013. Sudoeste Negócios, p. 1.

FARIA, José A. de. **Capacidade térmica e calor específico**. Disponível em <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=34510>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

FELLENBERG, Gunter. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. 1. ed. revisada. Revisão técnica: Cláudio Gilberto Froehlich. São Paulo: EPU Springer, 1980.

FRANCISCO, Wagner de C. e. Vento. **Brasil Escola**, São Paulo, fev. 2010. Disponível em <<http://www.brasilecola.com/geografia/vento.html>> Acesso em: 06ago. 2013.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de Conforto Térmico**. 6 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GENSO, Gueitiro M. O Diálogo Constrói a Inovação e o Sucesso. **Desempenho de Edificações Habitacionais: Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza, 2013. Gadioli Cipolla Comunicação, p. 14.

GERGES, Samir N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2 ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GRACEY. **Acoustic glossary**. Huntingdon: 2013. Disponível em <<http://www.acoustic-glossary.co.uk/index.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

REF. **FÍSICA: Física Térmica e Óptica**. 5. ed. São Paulo: EdUSP, 2005.

HALLIDAY, David; WALKER, Jearl; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 2. v. 3. ed. São Paulo: LTC, 2003.

INMETRO. **Sistema Internacional de Unidades - SI**. 8 ed. Rio de Janeiro, 2003. 115 p.

JEON, Jin Y; LEE, Pyoung J; RYU, Jong K. A quantification model of overall dissatisfaction with indoor noise environment in residential buildings. Science Direct, Seoul, 1 jun. 2010, Applied Acoustics. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X1000129>>. Acesso em: 10ago. 2013.

LABCONTROL. **Calorímetro Adiabático C-5000**. 2014. Disponível em <http://www.labcontrol.com.br/labcontrol-products/calorimetro-adiabatico-c-5000>>. Acesso em: 01jan. 2014.

LACERDA, Adriana B. M; MAGNI, Cristiana; MORATA, Thais C; MARQUES, Jair M; ZANNIN, Paulo H. T. Ambiente Urbano e Percepção da Poluição Sonora. Scielo, Curitiba, dez. 2005, Ambiente & Sociedade. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v8n2/28606.pdf>>. Acesso em: 10ago. 2013.

LIMA, Paulo G. **Tendências Paradigmáticas na Pesquisa Educacional**. 301 f. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação. Campinas, 2001. Disponível em: <<http://www.do.ufgd.edu.br/PauloLima/arquivo/mestrado.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2013.

MEHTA, Madan; SCARBOROUGH, Walter; ARMPRIEST, Diane. **Building Construction: Principles, Materials and Systems**. 2009 Update. Upper Saddle River: Pearson Education, 2009.

MICHAELIS. **Dicionário Prático da Língua Portuguesa**. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2011. 951p.

MINAYO, Maria C. de S; SANCHES, Odécio. Quantitativo-qualitativo: oposição ou complementaridade. **Caderneta da Saúde Pública**. Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, pg. 239-262, set. 1993.

NETZSCH. **HFM 436 Lambda** 2014. Disponível em <<http://www.netzsch-thermal-analysis.com/pt/produtos-solucoes/difusividade-termica-condutividade/hfm-436-lambda.html#!tabs/geral>>. Acesso em: 01jan. 2014.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Projeto de Desenvolvimento de Sistemas e Serviços de Saúde: **Saúde nos Aglomerados Urbanos: Uma Visão Integrada**. Brasília, 2003. Disponível em <<http://sna.saude.gov.br/download/Projeto%20de%20Desenvolvimento%20de%20Sistema%20e%20Servicos%20de%20Saude.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2013.

PEREIRA, F. O. R.; NETO, J. A. B. da C. Princípios para otimização do desempenho térmico de componentes da edificação. In: Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil, 1. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 1988, p. 124 - 131.

PINTO, Rodrigo B. **Determinação experimental e numérica da redução sonora aérea em paredes de alvenaria utilizadas em habitações**. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2011.

SANTOS, Altair. Comprador do imóvel será fiscal da ABNT NBR 15575. **Revista Itambé**, Curitiba, PR, abr. 2013. Disponível em <<http://www.cimentoitambe.com.br/comprador-do-imovel-sera-fiscal-da-abnt-nbr-15575/>>. Acesso em: 03 jul. 2013.

SILVA, Maria A. C.. **Metodologia de desempenho e NBR 15575 na concepção e desenvolvimento de empreendimentos residenciais**. São Paulo: NGI Consultoria, 2013 Disponível em <<http://www.sinduscon-rio.com.br/palestras/normas.pdf>>. Acesso em: 20ago. 2013.

SUONG, Wang M. Desempenho revisado. **Revista Técnica.**, São Paulo, v. 192, n. 2, mar. 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Report to Congress on indoor air quality: Assessment and Control of Indoor Air Pollution.**, Washington, D.C., v. 2, n. 400/1-89-001C, ago. 1989.

WALLACE, Lance A. The Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study: **Summary and Analysis.**, Washington, D.C., v. 1, n. 600/6-87/002A, jun. 1987.

WESTPHAL, Fernando S. Desempenho Térmico x Eficiência Energética: a Sustentabilidade Inserida na NBR15575. In: SEMINÁRIO ASBEA DE PREPARAÇÃO PARA A NORMA DE DESEMPENHO, 2013, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: FEICON BATIMAT, 2013. p. 16-17.

WINDFINDER. 2013. Disponível em <http://pt.windfinder.com/windstats/windstatistic_curitiba.htm>. Acesso em: 31dez. 2013.

WUENSCHÉ, Carlos A. **A Física da Música**. INPE, São Paulo, 2006, Divisão de Astrofísica. Disponível em <<http://www.ime.unicamp.br/~samuel/Extensao/TeiaSaber/fismus3.doc>>. Acesso em: 11ago. 2013.

Apêndice A

Neste apêndice, nas Tabelas 12 até 17, são mostrados os valores das temperaturas externas e internas dos modelos de residência analisados, em graus Celsius, para cada um dos dias do ano, sendo analisadas todas as horas do dia.

Além disto, nas Figuras 36 até 47, estão mostrados os níveis de desempenho das respectivas residências para cada hora classificada anteriormente. Esta classificação se dá a partir do especificado na NBR 15575 (ABNT, 2013). Nestas tabelas, quando o nível de desempenho é insatisfatório, ele não recebe classificação com uma letra maiúscula, como nos outros casos, e sim um caractere especial, além de ser grifado com a cor vermelha. O nível mínimo, como referido na norma, recebe a letra M e é grifado de rosa. O nível intermediário recebe a letra I e é grifado com a cor amarela. Por último, o nível superior, seguindo a norma, recebe a letra S e é grifado com a cor verde.

Adicionalmente, as tabelas estão divididas com a classificação das residências a partir da comparação de temperatura horária registrada pelo *software*, ou então pela temperatura crítica de verão ou inverno, para a cidade de Curitiba, como previsto na NBR 15575 – Parte 1 (ABNT, 2013).

Tabela 13 – Temperaturas internas e externas (°C): Modelo 1

MODELO 1		HORAS DO DIA - TEMPERATURA																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
JAN	Ext	18	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	24	24	24	24	23	22	21	21	19	19	19	18	
	Int	23	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	24	23	23	23
FEV	Ext	19	18	18	18	18	17	18	19	21	22	23	24	25	25	25	24	24	23	22	20	19	19	19	
	Int	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	23	23	23
MAR	Ext	17	18	17	17	17	17	17	18	19	21	22	23	24	24	24	24	22	21	19	19	18	18	18	
	Int	22	22	22	22	22	22	22	22	21	21	21	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	22
ABR	Ext	16	16	16	16	16	16	16	17	18	19	21	22	22	23	22	23	22	20	18	18	17	17	17	
	Int	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	
MAI	Ext	12	12	12	12	12	12	12	13	14	16	17	18	19	20	19	19	18	16	15	14	13	13	12	
	Int	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	
JUN	Ext	11	10	10	9	9	9	9	10	12	13	16	17	18	18	18	18	17	15	13	12	12	11	11	
	Int	17	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	17	17	17	17	17	
JUL	Ext	11	11	11	11	11	10	11	11	12	13	14	16	17	17	18	17	16	16	14	13	12	12	11	
	Int	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	
AGO	Ext	11	10	10	9	9	9	10	11	12	13	15	17	18	18	18	17	17	16	14	13	12	12	11	
	Int	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	
SET	Ext	13	12	12	12	12	12	13	14	14	16	17	18	18	19	19	18	17	17	16	15	14	14	13	
	Int	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	18	19	18	
OUT	Ext	14	13	13	13	13	13	14	16	17	18	19	21	21	21	22	21	19	18	17	16	16	15	14	
	Int	20	20	19	19	19	19	19	19	19	18	19	19	19	19	19	19	20	20	21	21	21	21	20	
NOV	Ext	16	15	15	15	15	14	16	17	19	20	21	23	23	23	23	23	22	21	19	18	18	17	16	
	Int	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	
DEZ	Ext	17	17	17	17	17	17	18	19	20	21	22	23	23	23	23	23	23	21	19	18	18	18	17	
	Int	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	

Fonte: Autoria própria (2013).

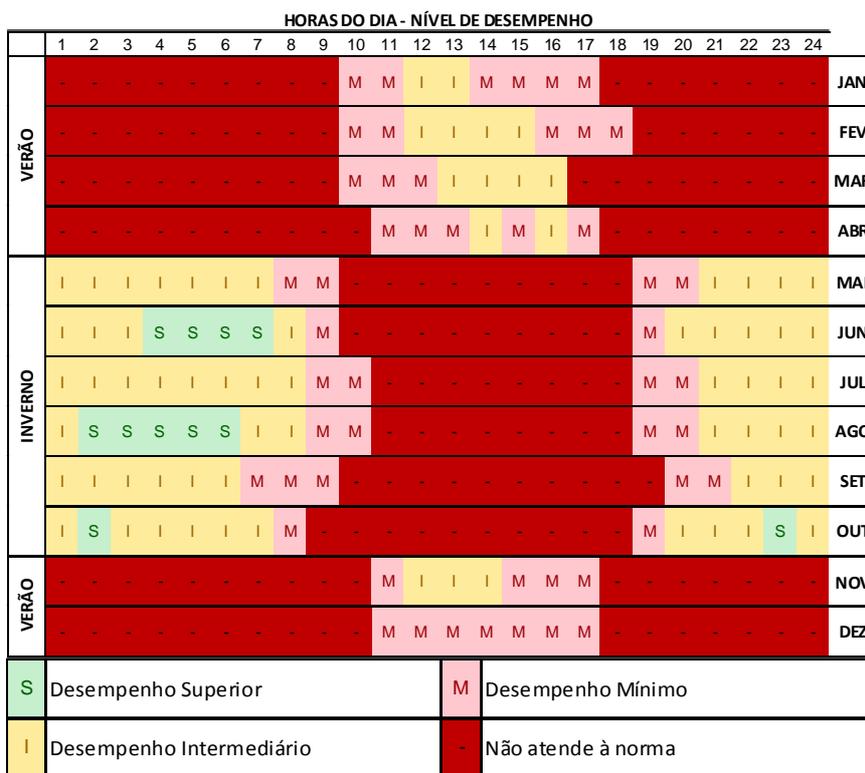


Figura 36 – Desempenho segundo as temperaturas diárias – Modelo 1
 Fonte: Autoria própria (2013).

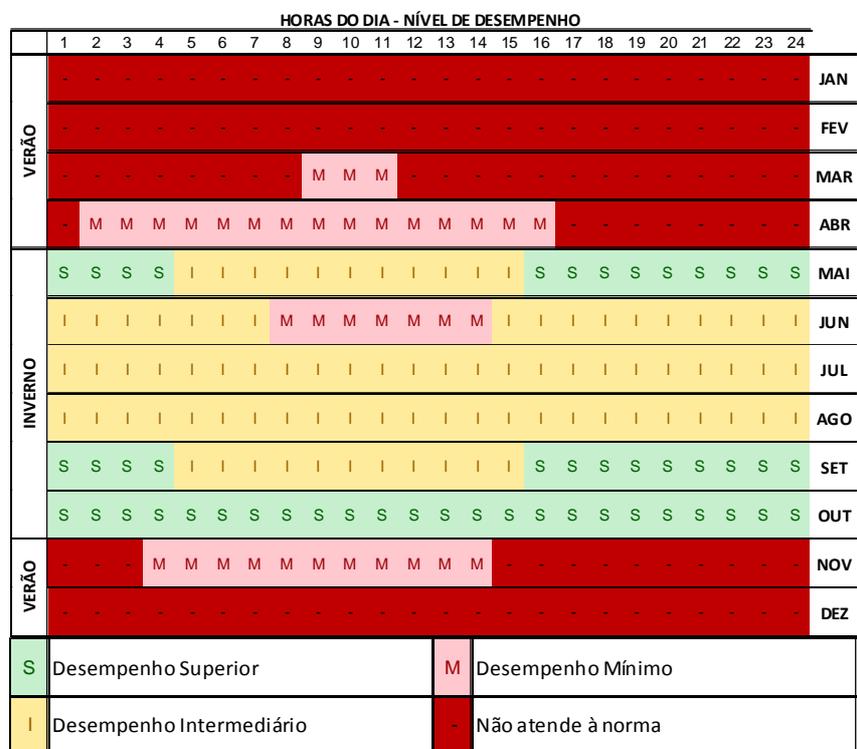


Figura 37 – Desempenho segundo as temperaturas características – Modelo 1
 Fonte: Autoria própria (2013).

Tabela 14 – Temperaturas internas e externas (°C): Modelo 2

MODELO 2		HORAS DO DIA - TEMPERATURA																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
JAN	Ext	18	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	24	24	24	24	24	23	22	21	21	19	19	19	18
	Int	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	23	23	23	23
FEV	Ext	19	18	18	18	18	17	18	19	21	22	23	24	25	25	25	24	24	23	22	20	19	19	19	19
	Int	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	23	23	23
MAR	Ext	17	18	17	17	17	17	17	18	19	21	22	23	24	24	24	24	22	21	19	19	18	18	18	18
	Int	22	22	22	22	22	21	21	21	21	21	21	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22
ABR	Ext	16	16	16	16	16	16	16	17	18	19	21	22	22	23	22	23	22	20	18	18	17	17	17	17
	Int	22	21	21	21	21	21	21	21	20	20	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22
MAI	Ext	12	12	12	12	12	12	12	13	14	16	17	18	19	20	19	19	18	16	15	14	13	13	12	12
	Int	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	19	19	19	19	19	18
JUN	Ext	11	10	10	9	9	9	9	10	12	13	16	17	18	18	18	18	17	15	13	12	12	11	11	11
	Int	17	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17
JUL	Ext	11	11	11	11	11	10	11	11	12	13	14	16	17	17	18	17	16	16	14	13	12	12	12	11
	Int	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17
AGO	Ext	11	10	10	9	9	9	10	11	12	13	15	17	18	18	18	17	17	16	14	13	12	12	11	11
	Int	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	18	18	18	18	17
SET	Ext	13	12	12	12	12	12	13	14	14	16	17	18	18	19	19	18	17	17	16	15	14	14	13	13
	Int	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	19	19	19	19	19	18
OUT	Ext	14	13	13	13	13	13	14	16	17	18	19	21	21	21	22	21	19	18	17	16	16	15	14	14
	Int	20	19	19	19	19	19	19	18	18	18	19	19	19	19	20	20	21	21	21	21	21	21	21	20
NOV	Ext	16	15	15	15	15	14	16	17	19	20	21	23	23	23	23	23	22	21	19	18	18	17	16	16
	Int	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	22	22	22
DEZ	Ext	17	17	17	17	17	17	18	19	20	21	22	23	23	23	23	23	23	21	19	18	18	18	18	17
	Int	22	22	22	22	22	22	22	22	21	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Fonte: Autoria própria (2013).

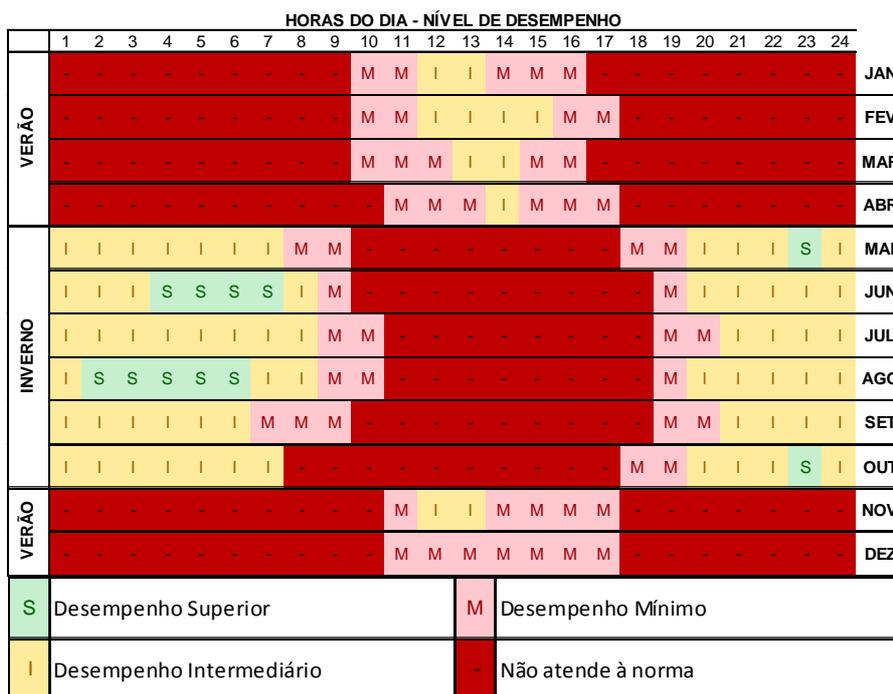


Figura 38 – Desempenho segundo as temperaturas diárias – Modelo 2
Fonte: Autoria própria (2013).

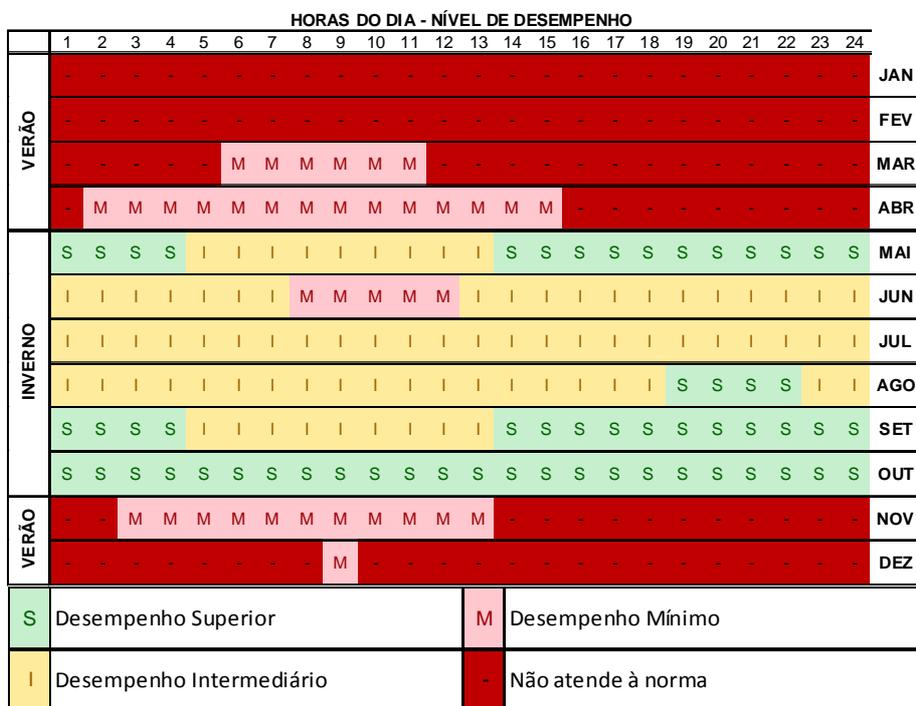


Figura 39 – Desempenho segundo as temperaturas características – Modelo 2
Fonte: Autoria própria (2013).

Tabela 15 – Temperaturas internas e externas (°C): Modelo 3

MODELO 3		HORAS DO DIA - TEMPERATURA																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
JAN	Ext	18	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	24	24	24	24	24	23	22	21	21	19	19	19	18
	Int	23	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	23	23
FEV	Ext	19	18	18	18	18	17	18	19	21	22	23	24	25	25	25	24	24	23	22	20	19	19	19	19
	Int	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	24	23	23	23
MAR	Ext	17	18	17	17	17	17	17	18	19	21	22	23	24	24	24	24	22	21	19	19	18	18	18	18
	Int	22	22	22	22	22	22	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22
ABR	Ext	16	16	16	16	16	16	16	17	18	19	21	22	22	23	22	23	22	20	18	18	17	17	17	17
	Int	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22
MAI	Ext	12	12	12	12	12	12	12	13	14	16	17	18	19	20	19	19	18	16	15	14	13	13	12	12
	Int	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	19	19	19	19	18
JUN	Ext	11	10	10	9	9	9	9	10	12	13	16	17	18	18	18	18	17	15	13	12	12	11	11	11
	Int	17	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17
JUL	Ext	11	11	11	11	11	10	11	11	12	13	14	16	17	17	18	17	16	16	14	13	12	12	12	11
	Int	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17
AGO	Ext	11	10	10	9	9	9	10	11	12	13	15	17	18	18	18	17	17	16	14	13	12	12	11	11
	Int	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17
SET	Ext	13	12	12	12	12	12	13	14	14	16	17	18	18	19	19	18	17	17	16	15	14	14	13	13
	Int	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	19	19	19	19	18
OUT	Ext	14	13	13	13	13	13	14	16	17	18	19	21	21	21	22	21	19	18	17	16	16	15	14	14
	Int	20	19	19	19	19	19	19	19	18	18	19	19	19	19	19	20	21	21	21	21	21	21	21	20
NOV	Ext	16	15	15	15	15	14	16	17	19	20	21	23	23	23	23	23	22	21	19	18	18	17	16	16
	Int	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23	22	22
DEZ	Ext	17	17	17	17	17	17	18	19	20	21	22	23	23	23	23	23	23	21	19	18	18	18	17	17
	Int	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Fonte: Autoria própria (2013).

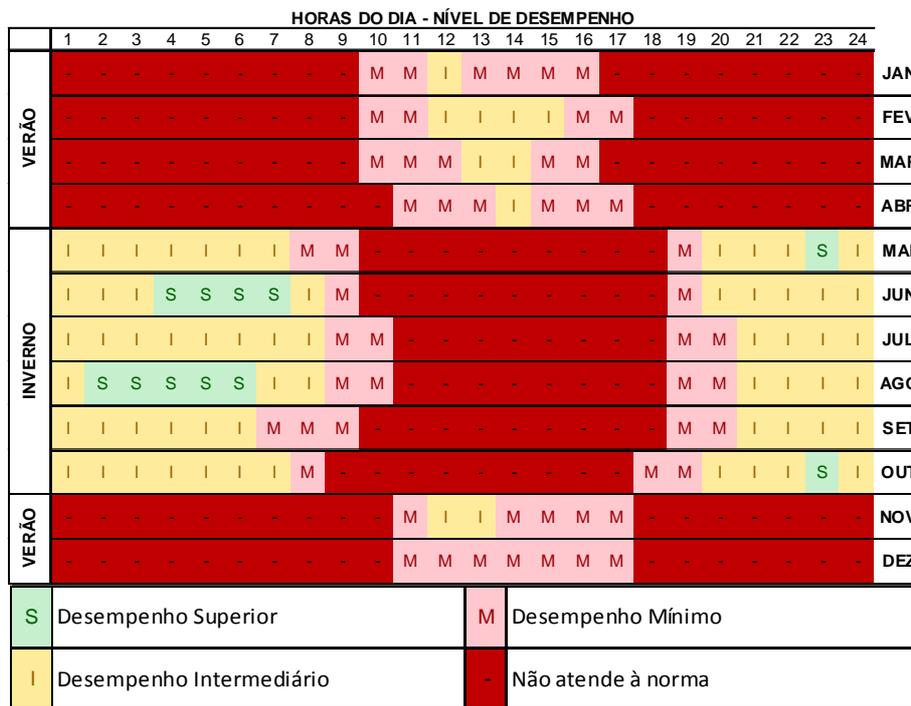


Figura 40 – Desempenho segundo as temperaturas diárias – Modelo 3
 Fonte: Autoria própria (2013).

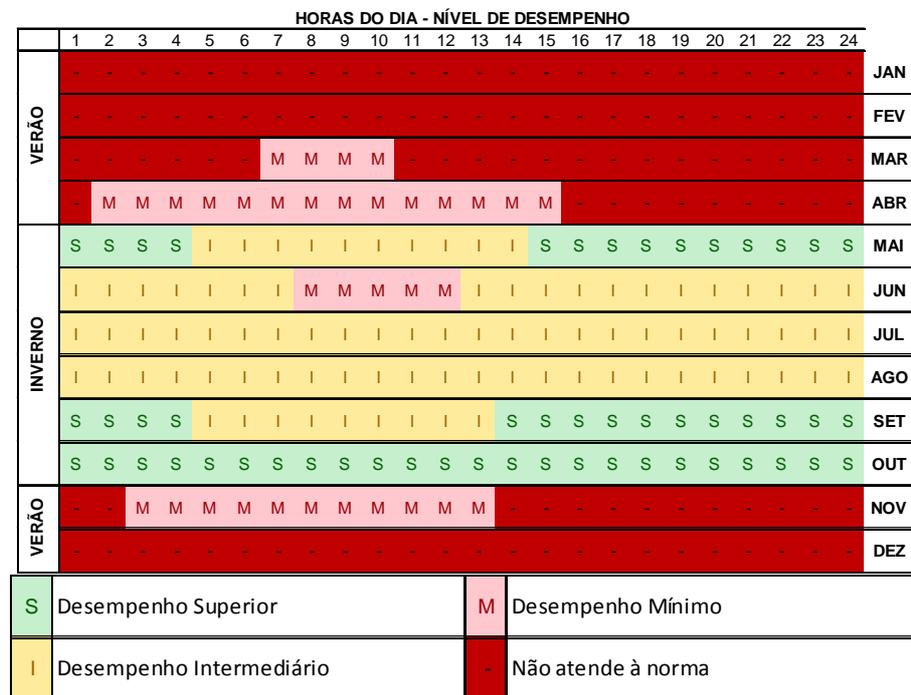


Figura 41 – Desempenho segundo as temperaturas características – Modelo 3
 Fonte: Autoria própria (2013).

Tabela 16 – Temperaturas internas e externas (°C): Modelo 4

MODELO 4		HORAS DO DIA - TEMPERATURA																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
JAN	Ext	18	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	24	24	24	24	24	23	22	21	21	19	19	19	18
	Int	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	23	23
FEV	Ext	19	18	18	18	18	17	18	19	21	22	23	24	25	25	25	24	24	23	22	20	19	19	19	19
	Int	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	23	23
MAR	Ext	17	18	17	17	17	17	17	18	19	21	22	23	24	24	24	24	22	21	19	19	18	18	18	18
	Int	22	22	22	22	22	22	21	21	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23
ABR	Ext	16	16	16	16	16	16	16	17	18	19	21	22	22	23	22	23	22	20	18	18	17	17	17	17
	Int	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22
MAI	Ext	12	12	12	12	12	12	12	13	14	16	17	18	19	20	19	19	18	16	15	14	13	13	12	12
	Int	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	19	19	19	19	19	18
JUN	Ext	11	10	10	9	9	9	9	10	12	13	16	17	18	18	18	18	17	15	13	12	12	11	11	11
	Int	17	17	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17
JUL	Ext	11	11	11	11	11	10	11	11	12	13	14	16	17	17	18	17	16	16	14	13	12	12	12	11
	Int	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17
AGO	Ext	11	10	10	9	9	9	10	11	12	13	15	17	18	18	18	17	17	16	14	13	12	12	11	11
	Int	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	18	18	18	18	17
SET	Ext	13	12	12	12	12	12	13	14	14	16	17	18	18	19	19	18	17	17	16	15	14	14	13	13
	Int	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19
OUT	Ext	14	13	13	13	13	13	14	16	17	18	19	21	21	21	22	21	19	18	17	16	16	15	14	14
	Int	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	21	21	21	21	21	21	21	21
NOV	Ext	16	15	15	15	15	14	16	17	19	20	21	23	23	23	23	23	22	21	19	18	18	17	16	16
	Int	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	23	23	23	23	23	23	23	22
DEZ	Ext	17	17	17	17	17	17	18	19	20	21	22	23	23	23	23	23	23	21	19	18	18	18	18	17
	Int	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	23	23	23

Fonte: Autoria própria (2013).



Figura 42 – Desempenho segundo as temperaturas diárias – Modelo 4
 Fonte: Autoria própria (2013).

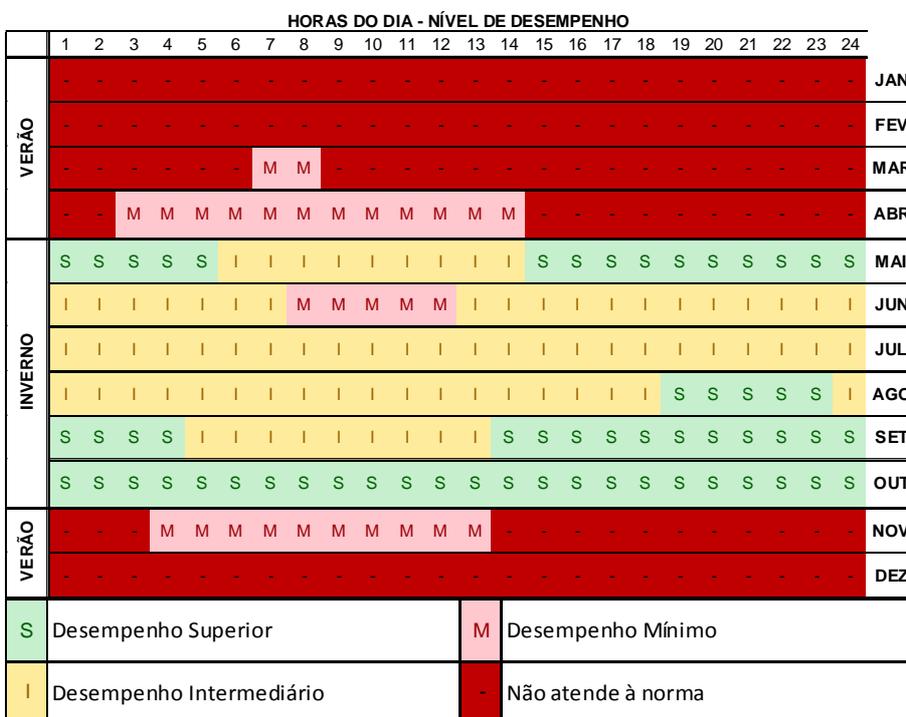


Figura 43 – Desempenho segundo as temperaturas características – Modelo 4
 Fonte: Autoria própria (2013).

Tabela 17 – Temperaturas internas e externas (°C): Modelo 5

MODELO 5		HORAS DO DIA - TEMPERATURA																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
JAN	Ext	18	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	24	24	24	24	24	23	22	21	21	19	19	19	18
	Int	23	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23
FEV	Ext	19	18	18	18	18	17	18	19	21	22	23	24	25	25	25	24	24	23	22	20	19	19	19	19
	Int	23	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24
MAR	Ext	17	18	17	17	17	17	17	18	19	21	22	23	24	24	24	24	22	21	19	19	18	18	18	18
	Int	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	23	23	23	23	23
ABR	Ext	16	16	16	16	16	16	16	17	18	19	21	22	22	23	22	23	22	20	18	18	17	17	17	17
	Int	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	23	23	23	22	22	22	22
MAI	Ext	12	12	12	12	12	12	12	13	14	16	17	18	19	20	19	19	18	16	15	14	13	13	12	12
	Int	19	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19
JUN	Ext	11	10	10	9	9	9	9	10	12	13	16	17	18	18	18	18	17	15	13	12	12	11	11	11
	Int	17	17	17	16	16	16	16	16	16	15	15	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17
JUL	Ext	11	11	11	11	11	10	11	11	12	13	14	16	17	17	18	17	16	16	14	13	12	12	12	11
	Int	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	18	18	18	18	18	18	17
AGO	Ext	11	10	10	9	9	9	10	11	12	13	15	17	18	18	18	17	17	16	14	13	12	12	11	11
	Int	17	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	18	18	18	18	18	18	18
SET	Ext	13	12	12	12	12	12	13	14	14	16	17	18	18	19	19	18	17	17	16	15	14	14	13	13
	Int	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19
OUT	Ext	14	13	13	13	13	13	14	16	17	18	19	21	21	21	22	21	19	18	17	16	16	15	14	14
	Int	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21
NOV	Ext	16	15	15	15	15	14	16	17	19	20	21	23	23	23	23	23	22	21	19	18	18	17	16	16
	Int	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	23	23	23	23	23	23	23	22
DEZ	Ext	17	17	17	17	17	17	18	19	20	21	22	23	23	23	23	23	23	21	19	18	18	18	18	17
	Int	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	23	23

Fonte: Autoria própria (2013).

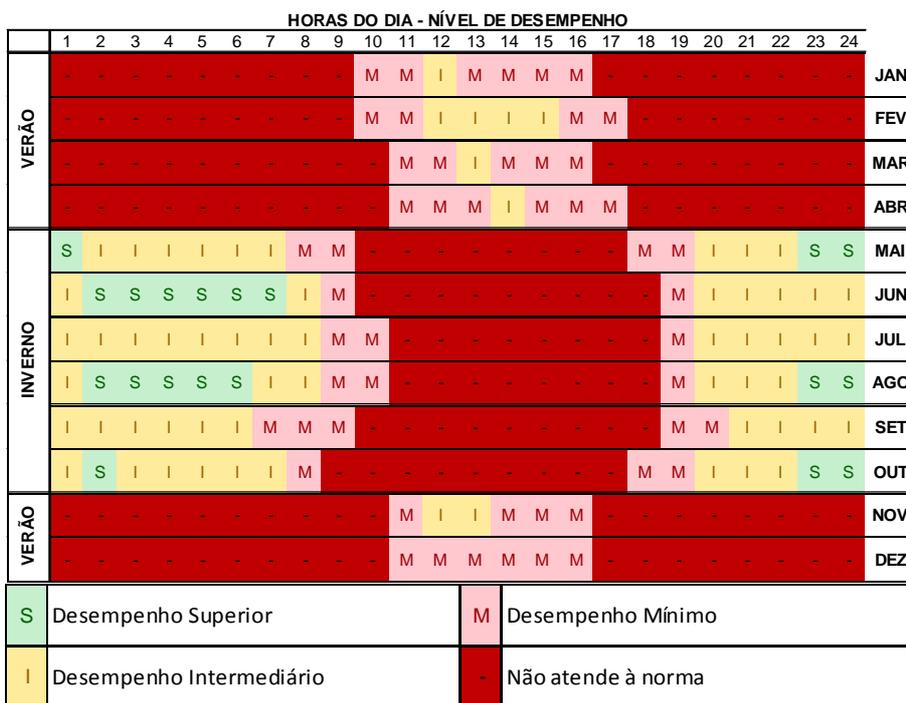


Figura 44 – Desempenho segundo as temperaturas diárias – Modelo 5
 Fonte: Autoria própria (2013).

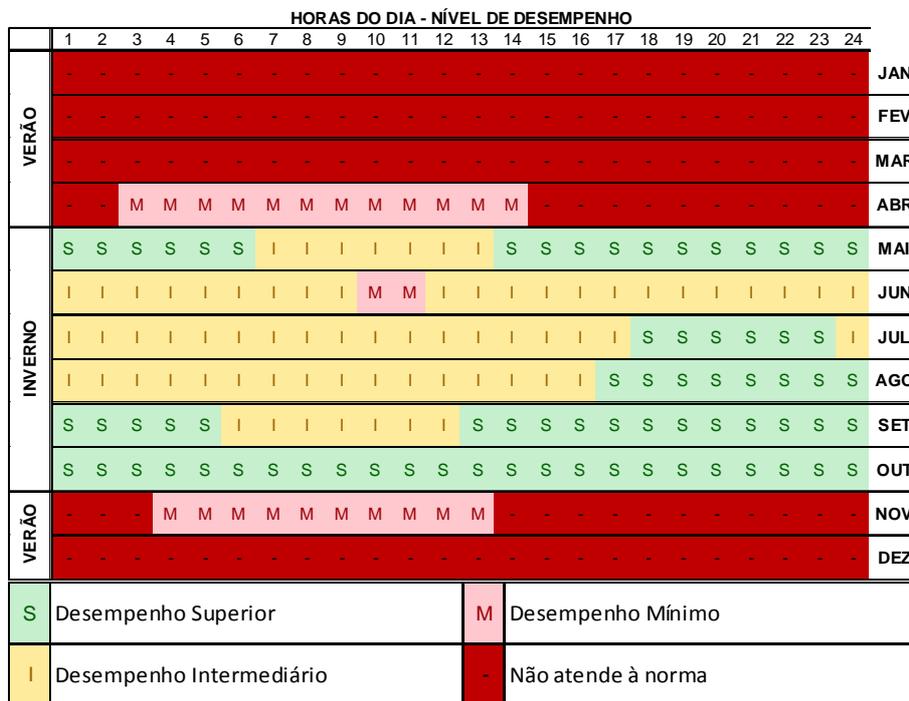


Figura 45 – Desempenho segundo as temperaturas características – Modelo 5
 Fonte: Autoria própria (2013).

Tabela 18 – Temperaturas internas e externas (°C): Modelo 6

MODELO 6		HORAS DO DIA - TEMPERATURA																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
JAN	Ext	18	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	24	24	24	24	24	23	22	21	21	19	19	19	18
	Int	25	24	24	24	24	24	24	23	23	23	23	23	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	25	25
FEV	Ext	19	18	18	18	18	17	18	19	21	22	23	24	25	25	25	24	24	23	22	20	19	19	19	19
	Int	25	24	24	24	24	24	24	23	23	23	23	23	23	24	24	24	24	25	25	25	25	25	25	25
MAR	Ext	17	18	17	17	17	17	17	18	19	21	22	23	24	24	24	24	22	21	19	19	18	18	18	18
	Int	24	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24
ABR	Ext	16	16	16	16	16	16	16	17	18	19	21	22	22	23	22	23	22	20	18	18	17	17	17	17
	Int	22	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22
MAI	Ext	12	12	12	12	12	12	12	13	14	16	17	18	19	20	19	19	18	16	15	14	13	13	12	12
	Int	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18
JUN	Ext	11	10	10	9	9	9	9	10	12	13	16	17	18	18	18	18	17	15	13	12	12	11	11	11
	Int	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17
JUL	Ext	11	11	11	11	11	10	11	11	12	13	14	16	17	17	18	17	16	16	14	13	12	12	12	11
	Int	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17
AGO	Ext	11	10	10	9	9	9	10	11	12	13	15	17	18	18	18	17	17	16	14	13	12	12	11	11
	Int	17	17	17	16	16	16	16	16	16	15	15	15	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17
SET	Ext	13	12	12	12	12	12	13	14	14	16	17	18	18	19	19	18	17	17	16	15	14	14	13	13
	Int	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18
OUT	Ext	14	13	13	13	13	13	14	16	17	18	19	21	21	21	22	21	19	18	17	16	16	15	14	14
	Int	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	21	21	21	21	21	21	21
NOV	Ext	16	15	15	15	15	14	16	17	19	20	21	23	23	23	23	23	22	21	19	18	18	17	16	16
	Int	23	22	22	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23
DEZ	Ext	17	17	17	17	17	17	18	19	20	21	22	23	23	23	23	23	23	21	19	18	18	18	18	17
	Int	24	24	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24

Fonte: Autoria própria (2013).

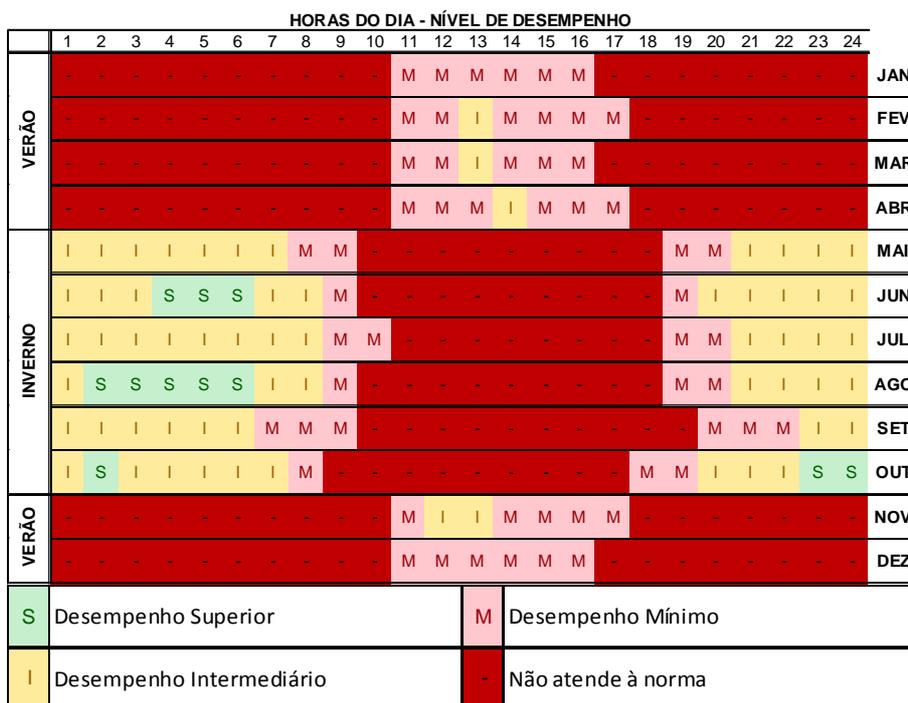


Figura 46 – Desempenho segundo as temperaturas diárias – Modelo 6
 Fonte: Autoria própria (2013).

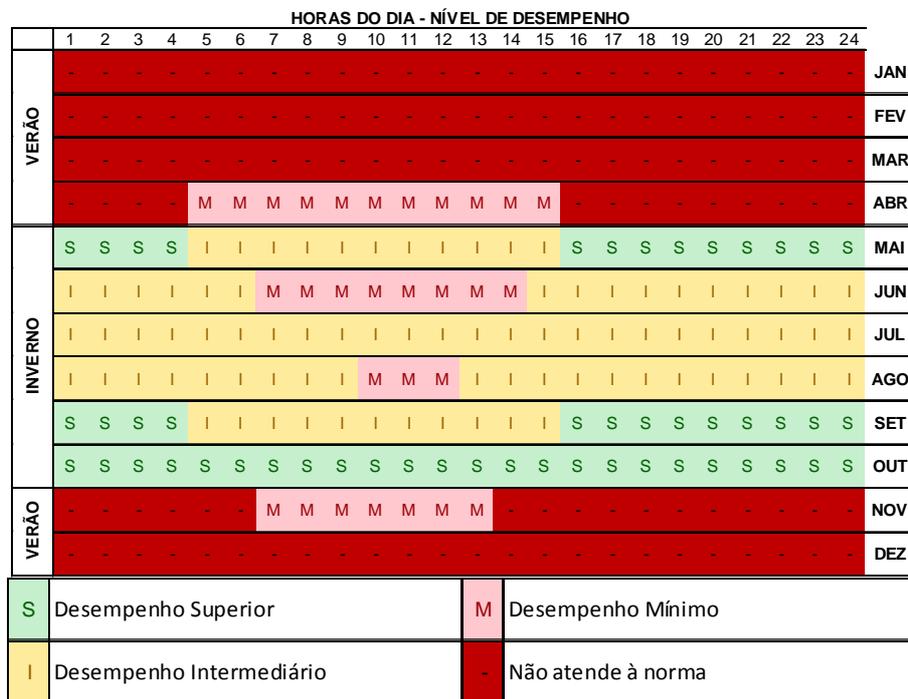


Figura 47 – Desempenho segundo as temperaturas características – Modelo 6
 Fonte: Autoria própria (2013).